



Bruno Alexandre Aleixo Pires

Licenciado em Engenharia do Ambiente

**VULNERABILIDADE E RISCO DE
GALGAMENTO OCEÂNICO EM LITORAIS
BAIXOS E ARENOSOS**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Orientador: Professor Doutor José Carlos Ribeiro
Ferreira, Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e
Tecnologia Universidade Nova de Lisboa.

Coorientador: Doutora Conceição Juana Espinosa
Morais Fortes, Investigadora Principal do Laboratório
Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Departamento de
Hidráulica e Ambiente (DHA), Núcleo de Portos e
Estruturas Marítimas

Júri :

Presidente: Prof.^a Doutora Maria Júlia Fonseca de Seixas
Arguente: Prof. Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos
Vogal: Prof. Doutor José Carlos Ribeiro Ferreira



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2017





Bruno Alexandre Aleixo Pires

Licenciado em Engenharia do Ambiente

**VULNERABILIDADE E RISCO DE
GALGAMENTO OCEÂNICO EM LITORAIS
BAIXOS E ARENOSOS**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Orientador Professor Doutor José Carlos Ribeiro
Ferreira, Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e
Tecnologia Universidade Nova de Lisboa.

Coorientador: Doutora Conceição Juana Espinosa
Morais Fortes, Investigadora Principal do Laboratório
Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Departamento de
Hidráulica e Ambiente (DHA), Núcleo de Portos e
Estruturas Marítimas

Júri: *(Font: Arial, 10 pt normal)*

Presidente: Prof.^a Doutora Maria Júlia Fonseca de Seixas
Arguente: Prof. Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos
Vogal: Prof. Doutor José Carlos Ribeiro Ferreira



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2017

Vulnerabilidade e Riscos de Galgamento oceânico em Litorais Baixos e Arenosos

Copyright © em nome de Bruno Alexandre Aleixo Pires, da FCT-UNL e da UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A realização e entrega desta Dissertação de Mestrado só foi possível graças à colaboração, contributo e entrega de várias pessoas às quais exprimo algumas palavras de agradecimentos e profundo reconhecimento.

Agradeço ao Professor Doutor José Carlos Ferreira e à Engenheira Juana Fortes, orientadores da minha dissertação pela disponibilidade, apoio prestado, preocupação, paciência, incentivo e partilha de conhecimento e informações, fundamentais para a sua realização.

Ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil que me permitiu aceder as suas instalações e equipamentos, bem como aos meus colegas que lá trabalharam, principalmente ao Engenheiro Pedro Poseiro e ao meu colega Artur Heleno que sempre se mostraram prestáveis e me auxiliaram na realização dos perfis de praias e na aplicação do modelo numérico XBEACH.

A todos os meus amigos que me acompanharam ao longo do meu percurso académico e a nível pessoal, obrigado pela vossa amizade e companheirismo.

E por fim, um agradecimento especial aos meus pais e à minha namorada pelo apoio incondicional, incentivo, amizade e paciência demonstrados na minha formação académica e pessoal.

Resumo

Esta dissertação, enquadrada no projeto HIDRALERTA, tem como objetivo avaliar a vulnerabilidade e o risco de galgamento costeiro. Para isso recorre-se a estimativas determinadas pelo modelo numérico XBEACH e por formulações empíricas, para o cálculo do runup e caudal médio galgado em praias da zona costeira da Costa da Caparica, concelho de Almada.

O modelo numérico XBEACH de previsão de tempestades marítimas na erosão e inundação de zonas costeiras foi avaliado através da comparação do desempenho do mesmo, relativamente as formulações empíricas.

Para aplicação do modelo XBEACH e das formulações empíricas consideram-se os valores de condições marítimas derivadas do modelo SWAN, entre os anos de 2013 e 2016 e os perfis transversais determinados através da técnica de LIDAR.

Para determinar o runup nas praias sem estrutura de proteção aderente foram utilizadas as fórmulas empíricas desenvolvidas por Hunt (1959), Holman (1986), Nielsen e Hanslow (1991), Ruggiero et al. (2001), Stockdon et al. (2006), Guza e Thornton (1982) e Teixeira (2009).

Para determinar o caudal galgado nas praias com estrutura de proteção foram aplicadas as fórmulas empíricas propostas por Mase et al. (2013).

De modo a obter uma avaliação mais rigorosa foram feitas quatro simulações. Numa simulação foi considerada a Tempestade 1 selecionada recorrendo a três critérios de seleção. As restantes Tempestades foram selecionadas por outros critérios de seleção, tais como, altura de onda significativa, período de pico e nível de maré.

Por fim, depois de determinado o nível máximo de inundação e o caudal médio galgado nas praias, procedeu-se à avaliação de risco de inundação. Para isso, utilizou-se a informações das tabelas de grau de probabilidade de ocorrência e do grau de consequência, que possibilitou a determinação da aceitabilidade do risco.

Palavras chave: Risco, XBEACH, HIDRALERTA, runup, galgamento, modelo empírico, Costa da Caparica.

Abstract

This dissertation, which is part of the HIDRALERTA project, aims to evaluate the vulnerability and risk of overtopping events at the coastline. For this, numerical estimates of the runup and average flow in coastal beaches of Costa da Caparica, municipality of Almada, are carried out with the numerical model XBEACH and empirical formulations.

The numerical model XBEACH predicts maritime storms in the erosion and flooding of coastal zones was evaluated by comparison of its performance against the empirical formulations. The XBEACH model and the empirical formulations were applied for the sea conditions derived from the SWAN model between the years 2013 and 2016 and the transversal profiles determined using the LIDAR technique.

To determine the runup on the beaches without a seawall or adherent protective structure, the empirical formulas considered were the ones developed by Hunt et al. (1959), Holman (1986), Nielsen and Hanslow (1991), Ruggiero et al. (2001), Stockdon et al. (2006), Guza and Thornton (1982) and Teixeira (2009). In regard to the beaches with a protection structure/seawall the empirical formulas proposed by Mase et al. (2013) were used.

In order to obtain a more rigorous evaluation, four simulations were carried out. In one simulation, Storm 1 was selected using three different selection criteria. The remaining Storms were selected by other aspects such as significant wave height, peak period and tide level.

With these methodologies, the maximum flooding level and the average overtopping flow of the beaches were obtained. The calculation of the flood risk was carried out by crossing the information from tables of the occurrence probability degree and the consequences degree, which enabled the evaluation of the risk acceptability.

Key-Words: Risk, XBEACH, HIDRALERTA, runup, overtopping, deterministic models, empirical models, Costa da Caparica

Índice

Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 Enquadramento do trabalho.....	1
1.2 Objetivos	4
1.3 Metodologia	5
1.4 Estrutura e organização da dissertação	7
Capítulo 2 - Metodologias	8
2.1 Caraterização da agitação marítima.....	8
2.1.1 Monitorização da agitação marítima	8
2.1.2 Modelo de caraterização da agitação marítima ao largo	9
2.1.3 Modelo de caracterização marítima junto à costa - Modelo SWAN.....	10
2.2 Caraterização do runup e galgamentos em praias.....	13
2.2.1 Noções principais do runup e galgamentos em praias	13
2.2.2 Fórmulas empíricas	16
2.2.3 Modelo XBEACH	26
2.3 Avaliação de Risco	39
Capítulo 3 - Casos de estudo: Praias da Costa da Caparica.....	45
3.1 Caraterização do local	45
3.1.1 Enquadramento geográfico.....	45
3.1.2 Enquadramento Socioeconómico	46
3.2 Evolução Dinâmica da Costa	47
3.3 Descrição das Praias em Estudo	51
Capítulo 4 - Caracterização da agitação ao largo e junto à costa	55
4.1 Caraterização da agitação marítima.....	55
4.1.1 Ao largo	55
4.1.2 Junto à costa.....	58
4.2 Caracterização do runup e do galgamento	61
4.2.1 Condições de aplicação das fórmulas empíricas.....	61
4.2.2 Condições de aplicação do modelo XBEACH.....	63
Capítulo 5 - Análise de resultados.....	70
5.1 Fórmulas empíricas	70
5.1.1 Análise dos valores estimados de NMI	70
5.1.2 Análise dos valores estimados de galgamento	82
5.2 Modelo XBEACH	87
5.2.1 Análise dos valores estimados de NMI	87

5.2.2 Análise dos valores estimados de galgamento	91
5.3 Comparações.....	95
5.3.1 Comparações dos valores estimados de NMI	95
5.3.2 Comparações dos valores estimados de galgamento	97
5.4 Avaliação de Risco	100
5.4.1 Avaliação de Risco Máximo de Inundação	100
5.4.2 Avaliação de Risco de Galgamento	107
Capítulo 6 - Conclusões e desenvolvimentos futuros	115
Referências bibliográficas	119
Anexo A - Programas FORTRAN e ficheiros de input e outputs	iii
Anexo B - Relatório do levantamento de perfis morfológicos do sistema praia-duna da Costa da Caparica	xxviii
Anexo C – Caracterização da Agitação Marítima	lxii
Anexo D - Caudal galgado obtido pelas fórmulas empíricas	lxvii
Anexo E - Caudal galgado obtido pelo modelo XBEACH	xcix

Índice de Figuras

Figura 1.1- Praia de São João da Caparica (Arquivo/beachcam.pt).	1
Figura 1.2 - Destruição do cordão dunar das praias da Costa da Caparica (Pedro Cunha/Arquivo)	2
Figura 1-3 - Metodologia sintetizada adotada para a dissertação	6
Figura 2.1 - Boia ondógrafo adaptado do porto de Lisboa	9
Figura 2.2 -Diagrama de funcionamento do SWAN	12
Figura 2.3 - Perfil de praia comum (USACE,2002)	13
Figura 2.4 - Espraçamento e refluxo (adaptado de USACE, 2006)	15
Figura 2.5 - Galgamento de uma estrutura de proteção aderente (Afonso,2011)	16
Figura 2.6 - Diagrama dos ficheiros de entrada e de saída do programa que determina o Nível Máximo de Inundação, através das fórmulas empíricas propostas por diversos autores.	22
Figura 2.7 - Esquema da reformulação do declive imaginário	23
Figura 2.8 - Diagrama dos ficheiros de entrada e de saída do programa, que determina o caudal médio galgado, através das formulações empíricas propostas do Mase et al (2013).....	25
Figura 2.9 - Grelha definição do domínio no XBEACH (den Bieman,2013).....	33
Figura 2.10 - Grelha definição das direções das ondas no XBEACH (adaptado de Bieman,2013)	34
Figura 2.11 - Diagrama de funcionamento do XBEACH.....	36
Figura 3.1 - Localização da zona de estudo (adaptado do Google Earth)	45
Figura 3.2 - Evolução da linha de costa e área urbana (Gomes et al.,2006).....	48
Figura 3.3 - Evolução do perfil transversal entre 1957 e 1964 (Barceló, J. P., 1971).	49
Figura 3.4 - Identificação da zona sem (verde) e com (vermelho) estrutura de proteção aderente nas praia da Costa da Caparica (adptado Google Earth).....	52
Figura 3.5 - Proteção aderente ao longo das praias da Costa da Caparica.....	53
Figura 3.6 - Projeto ReDuna na Praia de São João da Caparica	53
Figura 3.7 - Vista a Sul da Praia São João da Caparica.....	54
Figura 3.8 - Vista a Sul das Restantes Praias da Costa da Caparica	54
Figura 4.1 - Histograma que relaciona a altura de onda significativa ao largo (H_s) e a direção de onda ao largo (Dir).....	57
Figura 4.2 -Histograma que relaciona a altura de onda significativa ao largo (H_s) e o período de pico (T_p)	57
Figura 4.3 -Altura de onda significativa e período de pico no ponto P1.	59
Figura 4.4 - Altura de onda significativa e período de pico no ponto P4.	59
Figura 4.5 -Excertos de relatos de ocorrências nas praias da Costa da Caparica.....	68
Figura 4.6 -Danos e galgamentos devido a tempestades sentidas no Inverno de 2014.....	69
Figura 5.1 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Hunt (1959) e Holman (1986) para a tempestade 1.	71
Figura 5.2 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Stockdon et al (2006) e Nielsen e Hanslow (1991) para a tempestade 1.	71

Figura 5.3 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Ruggiero et al (2001) e Guza e Thornton (1982) para a tempestade 1.....	72
Figura 5.4 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Teixeira (2009) para a tempestade 1.....	72
Figura 5.5 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Hunt (1959) e Holman (1986) para a tempestade 2.....	74
Figura 5.6 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Stockdon et al (2006) e Nielsen e Hanslow (1991) para a tempestade 2.....	74
Figura 5.7 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Ruggiero et al (2001) e Guza e Thornton (1982) para a tempestade 2.....	75
Figura 5.8 - Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Teixeira (2009) para a tempestade 2.....	75
Figura 5.9 - Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Hunt (1959) e Holman (1986) para a tempestade 3.....	77
Figura 5.10 - Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Stockdon et al (2006) e Nielsen e Hanslow (1991) para a tempestade 3.....	77
Figura 5.11 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Ruggiero et al (2001) e Guza e Thornton (1982) para a tempestade 3.....	78
Figura 5.12 - Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Teixeira (2009) para a tempestade 3.....	78
Figura 5.13 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Hunt (1959) e Holman (1986) para a tempestade 4.....	80
Figura 5.14 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Stockdon et al (2006) e Nielsen e Hanslow (1991) para a tempestade 4.....	80
Figura 5.15 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Ruggiero et al (2001) e Guza e Thornton (1982) para a tempestade 4.....	81
Figura 5.16 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Teixeira (2009) para a tempestade 4.....	81
Figura 5.17 -Runup na Secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 1.....	83
Figura 5.18 - Caudal médio galgado na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para tempestade 1.....	83
Figura 5.19 - Runup na Secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 2.....	84
Figura 5.20 -Caudal médio galgado na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para tempestade 2.....	84
Figura 5.21 -Runup na Secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 3.....	85
Figura 5.22 -Caudal médio galgado na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para tempestade 3.....	85

Figura 5.23 -Runup na Secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 4.	86
Figura 5.24 -Caudal médio galgado na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para tempestade 4.....	86
Figura 5.25 — Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 1.....	87
Figura 5.26 -Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 2.....	88
Figura 5.27 - Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 3.....	89
Figura 5-28 -Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 4.....	90
Figura 5.29 - Caudal instantâneo galgado na secção P4, determinado através da metodologia do XBECH para a tempestade 1.	91
Figura 5.30 -Caudal instantâneo galgado na secção P4, determinado através da metodologia do XBECH para a tempestade 2.	92
Figura 5.31 - Caudal instantâneo galgado na secção P4, determinado através da metodologia do XBECH para a tempestade 3.	93
Figura 5.32 - Caudal instantâneo galgado na secção P4, determinado através da metodologia do XBECH para a tempestade 4.	94
Figura 5.33 -Avaliação de risco de inundação através das fórmulas empíricas com todos os autores para a tempestade 1.....	100
Figura 5.34 - Avaliação de risco de inundação através do modelo numérico XBEACH para a tempestade 1.....	101
Figura 5.35 -Avaliação de risco de inundação através das fórmulas empíricas com todos os autores para a tempestade 2.....	102
Figura 5.36 -Avaliação de risco de inundação através do modelo numérico XBEACH para a tempestade 2.....	103
Figura 5.37 -Avaliação de risco de inundação através das fórmulas empíricas com todos os autores para a tempestade 3.....	104
Figura 5.38 - Avaliação de risco de inundação através do modelo numérico XBEACH para a tempestade 3.....	104
Figura 5.39 - Avaliação de risco de inundação através das fórmulas empíricas com todos os autores para a tempestade 4.....	105
Figura 5.40 -Avaliação de risco de inundação através do modelo numérico XBEACH para a tempestade 4.....	106

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Principais conceitos do sistema praia (Silva, 2012)	14
Tabela 2.2 - Fórmulas adotadas no cálculo do runup em praias sem estruturas de proteção aderente e respectivos autores (adaptado de Martinho,2014).	20
Tabela 2.3 - Fórmulas para determinar o caudal galgado para praias com estrutura de proteção aderentes (Mase et al. 2013).	24
Tabela 2.4 - Condições de aplicação na formulação de Mase et al. (2013).	24
Tabela 2.5 - Parâmetros do XBEACH importantes para a presente dissertação e respetiva descrição, unidades, intervalo recomendado e valor padrão (adaptado Heleno,2016)	31
Tabela 2.6 - Exemplos de resultados do modelo XBEACH (adaptado Heleno 2016).	35
Tabela 2.7 - Tabela de Probabilidades de Ocorrências (Raposeiro et al., 2010, Raposeiro e Ferreira, 2011)	40
Tabela 2.8 - Valores do caudal médio de galgamento admissível para estruturas marítimas (Neves, 2013; adaptado de Pullen et al., 2007).	40
Tabela 2.9 - Valores do caudal médio de galgamento admissível para pessoas (Neves, 2013; adaptado de Pullen et al., 2007).	41
Tabela 2.10 - Valores de caudal médio galgado admissível para as diversas alternativas existentes em zonas abrigadas pela estrutura (Neves, 2013; adaptado de Pullen et al., 2007).	41
Tabela 2.11 - Tabela de consequências da inundação (Raposeiro e Ferreira, 2011)	42
Tabela 2.12 - Tabela de risco de inundação costeira (Raposeiro e Ferreira, 2011)	43
Tabela 2.13 - Controlo do risco de inundação costeira (Raposeiro e Ferreira, 2011).	43
Tabela 2.14 - Estratégias de atuação nos locais em risco (Raposeiro e Ferreira, 2011)	44
Tabela 3.1 - População da freguesia da Costa da Caparica. Distribuição da População por Grupos Etários (INE, 2011).	46
Tabela 3.2 - Tabela das ocorrências e intervenções registadas na Costa da Caparica entre 2007 e 2016...50	
Tabela 4.1 -Valores médios mensais das características da agitação marítima ao largo entre 2007 e 2016	55
Tabela 4.2 -Valores máximos anuais das características da agitação marítima ao largo entre 2007 e 2016	56
Tabela 4.3 -Valores máximos e médios da altura de onda significativa nos vários pontos.	60
Tabela 4.4 -Valores máximos e médios do período de pico nos vários pontos.	61
Tabela 4.5 -Valores das características da agitação marítima ao largo entre 03/01/2014 e 07/01/2014.....	66
Tabela 4.6 -Valores das características da agitação marítima ao largo entre 08/02/2014 e 10/02/2014.....	67
Tabela 4.7 -Valores das características da agitação marítima ao largo entre 24/02/2014 e 25/02/2014.....	67
Tabela 4.8 -Valores das características da agitação marítima ao largo entre 14/02/2016 e 15/02/2016.....	67
Tabela 5.1 -Valores extremos e média do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinados através das metodologias das diferentes formulações empíricas para a tempestade 1.	73
Tabela 5.2 - Valores extremos e média do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinados através das metodologias das diferentes formulações empíricas para a tempestade 2	76

Tabela 5.3 -Valores extremos e média do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinados através das metodologias das diferentes formulações empíricas para a tempestade 3	79
Tabela 5.4 -Valores extremos e média do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinados através das metodologias das diferentes formulações empíricas para a tempestade 4.	82
Tabela 5.5 -Valores extremos do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 1.	88
Tabela 5.6 -Valores extremos do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 2.	89
Tabela 5.7 -Valores extremos do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da	90
Tabela 5.8 -Valores extremos do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 4.	91
Tabela 5.9 -Valores externos e média do caudal instantâneo galgado na secção P4, determinados através da metodologia do XBEACH para a tempestade 1.....	92
Tabela 5.10 -Valores externos e média do caudal instantâneo galgado na secção P4, determinados através da metodologia do XBEACH para a tempestade 2.....	93
Tabela 5.11 -Valores externos e média do caudal instantâneo galgado na secção P4, determinados através da metodologia do XBEACH para a tempestade 1.....	93
Tabela 5.12 -Valores externos e média do caudal instantâneo galgado na secção P4, determinados através da metodologia do XBEACH para a tempestade 1.....	94
Tabela 5.13 -Valores externos e média do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinados através das metodologias das diferentes formulações empíricas e do modelo XBEACH, para as tempestades 1 e 2.....	95
Tabela 5.14 -Comparação dos valores médios, a cada 6 horas, na secção P4, determinados através das metodologias das formulações empíricas e do modelo numérico, com as respetivas datas e horas em que ocorrem, para a tempestade 1.	98
Tabela 5.15 -Comparação dos valores médios, a cada 6 horas, na secção P4, determinados através das metodologias das formulações empíricas e do modelo numérico, com as respetivas datas e horas em que ocorrem, para a tempestade 2.	98
Tabela 5.16 -Comparação dos valores médios, a cada 6 horas, na secção P4, determinados através das metodologias das formulações empíricas e do modelo numérico, com as respetivas datas e horas em que ocorrem, para a tempestade 3.	99
Tabela 5.17 -Comparação dos valores médios, a cada 6 horas, na secção P4, determinados através das metodologias das formulações empíricas e do modelo numérico, com as respetivas datas e horas em que ocorrem, para a tempestade 4.	99
Tabela 5.18 -Probabilidade de ocorrência de galgamento através das fórmulas empíricas para a tempestade 1.....	107
Tabela 5.19 - Probabilidade de ocorrência de galgamento através do Modelo XBEACH para a tempestade 1.....	107
Tabela 5.20 -Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através das fórmulas empíricas para a tempestade 1.....	108

Tabela 5.21 -Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através do Modelo XEBACH para a tempestade 1.....	108
Tabela 5.22 -Probabilidade de ocorrência de galgamento através das fórmulas empíricas para a tempestade 2.....	109
Tabela 5.23 -Probabilidade de ocorrência de galgamento através do Modelo XBEACH para a tempestade 2.....	109
Tabela 5.24 -Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através das fórmulas empíricas para a tempestade 2.....	110
Tabela 5.25 -Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através do Modelo XEBACH para a tempestade 2.....	110
Tabela 5.26 - Probabilidade de ocorrência de galgamento através das fórmulas empíricas para a tempestade 3.....	111
Tabela 5.27 -Probabilidade de ocorrência de galgamento através do Modelo XBEACH para a tempestade 3.....	111
Tabela 5.28 -Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através das fórmulas empíricas para a tempestade 3.....	112
Tabela 5.29 -Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através do Modelo XEBACH para a tempestade 3.....	112
Tabela 5.30 - Probabilidade de ocorrência de galgamento através das fórmulas empíricas para a tempestade 4.....	113
Tabela 5.31 - Probabilidade de ocorrência de galgamento através do Modelo XBEACH para a tempestade 4.....	113
Tabela 5.32 - Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através das fórmulas empíricas para a tempestade 4.....	113
Tabela 5.33 - Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através do Modelo XEBACH para a tempestade 4.....	114

Letras Latinas

A	Direção espectral da ação da onda.
A_s, S_k	Velocidades orbitais
$Area$	Área transversal segundo a metodologia de Mase et al. (2013)
C_g	Velocidade de propagação de onda no espaço
C_r	Coeficiente de redução do galgamento proporcionado pela presença de uma berma de coroamento permeável.
c_θ	Velocidade de propagação de onda no espectro
D_f	Representação da dissipação de energia das ondas proporcionada pelo atrito do fundo.
D_v	Representação da dissipação de energia das ondas proporcionada pela vegetação.
D_w	Representação da dissipação de energia das ondas proporcionada pela rebentação das ondas
Dir	Direção de onda
ds	Profundidade da água no pé da estrutura
E_w	Energia de onda.
f_{cats}	Fator do período de onda.
f_{Sk}, f_{As}	Fatores de calibração da velocidade de sedimentação.
g	Aceleração da gravidade.
G_c	Largura da berma de coroamento permeável.
H	Altura de onda.
h	Altura de água.
h_b	Profundidade da coluna de água no ponto da rebentação da onda.
H_{m0}	Altura significativa espectral de onda.
H_{rms}	Altura de onda média quadrática.
H_{s0}	Altura de onda significativa ao largo.
H_s	Altura de onda significativa.
H_{0rms}	Altura de onda média quadrática ao largo.
H_0	Altura de onda ao largo.
k	Variação média da turbulência à superfície da água.
k_b	Variação da turbulência no fundo.
L	Comprimento de onda.
L_{RU}	Parâmetro utilizado no cálculo do runup segundo Nielsen e Hanslow (1991).

L_0	Comprimento de onda ao largo
Q	Caudal galgado
Q_b	Fração de ondas rebentadas
R	Runup
$R_{m\acute{a}x.}$	Runup máximo
$R_{m\acute{a}x.37\%,100}$	Runup máximo não excedido por 37% dos casos em ensaios com 100 ondas
$R_{m\acute{a}x.99\%,100}$	Runup máximo não excedido por 99% dos casos em ensaios com 100 ondas
$R_{m\acute{e}dio}$	Runup médio
R_s	Runup significativo
$R_{1/10}$	Média do décimo mais alto dos runup's
$R_{1/3}$	Média do terço mais alto dos runup's
$R_{1\%}$	Runup com probabilidade de não excedência de 1%
$R_{2\%}$	Runup com probabilidade de não excedência de 2%
R_c	Desnível entre a cota de coroamento da estrutura e o nível médio da água
$S_{m\acute{a}x.}$	Nível de maré (somatório da maré astronómica com a sobrelevação)
T	Período médio
T_p	Período de pico no espectro
T_{rep}	Período de onda
T_0	Média do terço superior do período da onda ao largo
u	Componente horizontal da velocidade da água
u_a	Velocidade de sedimentação
u_{rms}	Velocidade média quadrática
u^E	Velocidade Euleriana, na direção x
v	Velocidade de sedimentação provocada pela agitação da água
v^E	Velocidade Euleriana, na direção
y^{n-1}	Velocidade de sedimentação provocada pela agitação da água no passo anterior.
Z	Distância vertical entre o ponto mais elevado atingido pelo espraio da onda e o nível médio do mar nesse momento.
$Z_{m\acute{a}x.}$	Cotas máximas das dunas ou dos paredões
Z_d	Diferença entre a cota da superfície da água e a do coroamento
zs	Altura da água

Letras Gregas

α	Inclinação da estrutura de defesa
$cota$	Declive da estrutura
β	Ângulo de incidência da onda
$\tan\beta$	Declive da face da praia
ξ	Número de Iribarren
ξ_0	Número de Iribarren, determinado com condições ao largo
ξ_s	Número de Iribarren, determinado com condições junto à costa
θ	Direção da agitação
$\tan\theta$	Declive do fundo
σ	Frequência relativa

Abreviaturas

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
AML	Área Metropolitana de Lisboa
C.C.L.	Clube de Campismo de Lisboa
CM	Correio da Manhã
DHI	Institute for Water and Environment
DN	Diário de Notícias
DR	Diário da Região
FORTTRAN	Formula Translating System
GLM	Generalized Lagrangian Mean
G.N.R.	Guarda Nacional Republicana
IAHR Research	International Association for Hydro-Environment Engineering and
IGEO	Instituto Geográfico Português
IH	Instituto Hidrográfico
INAG	Instituto da Água, I.P.
INATEL	Instituto Nacional para Aproveitamento dos Tempos Livres
INE	Instituto Nacional de Estatística
IO-BAS	Institute of Oceanography, Bulgarian Academy of Sciences
ICNB	Instituto da Conservação da Natureza e da Biodiversidade
JN	Jornal de Notícias
JONSWAP	Joint North Sea Wave Project
JR	Jornal da Região
LIDAR	Light Detection and Ranging
LMPMAVE	Limite máximo de preia-mar das águas vivas equinociais
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.
MA	Maré astronómica
MATLAB	MATrix LABoratory
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NLSW	Nonlinear Shallow Water
NMA	Nível médio da água
NMI	Nível Máximo de Inundação
POOC	Plano de Ordenamento da Orla Costeira
RGP	Recenseamento Geral da População
RTP	Rádio e Televisão de Portugal
Sbeach	numerical model for simulating storm-induced beach change

SL	Sobrelevação meteorológica
SMC	Sistema de Modelado Costero
SWAN	Simulating Waves Nearshore
TVI	Televisão Independente
UNESCO-IHE	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - Institute for Water Education
USACE	United States Army Corps of Engineers
WWIII	WaveWatch III
XBEACH	Extreme Beach Erosion
ZH	Zero hidrográfico

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Enquadramento do trabalho

“A zona costeira assume uma importância estratégica em termos ambientais, económicos, sociais, culturais e recreativos, pelo que o aproveitamento das suas potencialidades e a resolução dos seus problemas exigem uma política de desenvolvimento sustentável apoiada numa gestão integrada e transversal.” (APA,2012).

A costa Portuguesa é frequentemente destino de férias para os portugueses e para aqueles que visitam Portugal vindos do estrangeiro. Porém, é também crescente a ocupação da orla costeira ao longo dos últimos anos que em situações de condições adversas do mar, potencia as situações de perigo para a segurança de pessoas e bens com impactos diretos para a economia, sociedade e património natural. Merecem destaque, as situações que envolvem o galgamento de estruturas costeiras pelas consequências associadas à destruição e à inundação das zonas que protegem.

A Costa da Caparica, Figura 1.1, é um exemplo de uma zona costeira com frequentes ocorrências de galgamento costeiro, das zonas de praia com e sem estruturas de proteção aderentes com consequências de inundação das zonas protegidas, causando importantes danos materiais e colocando em risco a população, Figura 1.2.



Figura 1.1- Praia de São João da Caparica (Arquivo/beachcam.pt).

Um exemplo deste tipo de situação nas praias da Costa da Caparica, verificou-se neste Inverno de 2017, durante a tempestade Dóris ocorrida a 2 de fevereiro de 2017, com ocorrência de inundação e galgamentos de infraestruturas causando a destruição de bares e passadiços, entre outros. Assim, a avaliação do risco de galgamento/inundação em zonas costeiras e portuárias e a

construção de mapas de risco é fundamental, para a segurança das pessoas, bens e infraestruturas, bem como para garantir o bom desempenho e planeamento das atividades costeiras.



Figura 1.2 - Destruição do cordão dunar das praias da Costa da Caparica (Pedro Cunha/Arquivo)

Nesse sentido, é necessária uma estratégia que permita prevenir e alertar as autoridades competentes para as situações de emergência resultantes da ação do mar na zona costeira, de forma que estas possam tomar medidas preventivas atempadamente de modo a minimizar ou até mesmo evitar danos ao nível material e humano.

Tendo em conta esta situação foi desenvolvido um sistema de previsão e de avaliação de risco associado ao galgamento costeiro e à inundação em zonas costeiras e portuárias, que se baseia em medições e previsões da agitação marítima ao largo, o sistema HIDRALERTA (Fortes et al., 2013).

Este sistema recorre a modelos numéricos, redes neuronais (para as zonas portuárias) e fórmulas empíricas (para as zonas costeiras), para a determinação dos valores de galgamento ou de cotas de inundação em áreas específicas, associados a estados de agitação previstos ou medidos. O sistema permite a comparação desses valores com valores máximos admissíveis pré-estabelecidos, permitindo assim:

- ❖ A avaliação em tempo útil de eventuais situações de emergência e a emissão de alertas destinadas às entidades competentes, sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas localmente;
- ❖ A construção de mapas de risco, considerando séries temporais longas de previsões da agitação marítima ou cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos.

Assim, este sistema resulta numa ferramenta importante ao apoio no planeamento e gestão de zonas costeiras e portuárias, pois permite a identificação de situações de emergência que

possibilita, atempadamente, a adoção de medidas pelas autoridades competentes, de modo a evitar perdas de vidas e minimizar prejuízos económicos e ambientais. Além disso, a sua componente de gestão permitirá simular cenários futuros a longo prazo.

Esta metodologia já foi aplicada várias vezes ao longo da costa portuguesa, nomeadamente para as praias de Vale do Lobo (Raposeiro et al., 2010) e de S. João da Caparica (Neves, 2013; Neves et al. 2013; Raposeiro et al, 2013, Martinho, 2014, Heleno, 2016) e para os portos da Praia da Vitória, na ilha Terceira (Neves et al., 2012b; Rocha, 2012; Rocha et al., 2013; Poseiro, 2013 e Sengo, 2016), porto de Sines (Neves et al., 2012a), porto de Ponta Delgada, na ilha de São Miguel (Silva, 2012; Silva et al. 2012) e Praia do Furadouro (Martins, 2016).

No entanto, este sistema, que ainda se encontra em desenvolvimento, apresenta algumas limitações, entre as quais o fato de utilizar métodos simples e expeditos para o cálculo do espraçamento (runup) e do galgamento e consequentemente da avaliação da inundação.

Com efeito, para o cálculo do espraçamento e/ou do galgamento, utilizam-se fórmulas empíricas da literatura (Fortes et al., 2013) no caso de zonas de praias com e sem estruturas de proteção, bem como fórmulas desenvolvidas e testadas no âmbito do HIDRALERTA (Mase et al., 2013; Reis et al., 2013). Para o caso de galgamento de zonas com estruturas portuárias, recorre-se à ferramenta de redes neuronais artificiais NN_OVERTOPPING2 (Coeveld et al., 2005) que fornece o caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura. Embora não implementado no sistema utilizaram-se ainda outras ferramentas neuronais (Verhaghe, 2005; Santos et al., 2013).

Quer as fórmulas quer as redes neuronais, constituem uma metodologia indireta de cálculo da inundação da zona costeira, além de que são apenas aplicadas a seções tipo da zona em estudo e não em conta a totalidade/espacialidade da zona em estudo.

No caso de praias como é a Costa da Caparica, estas metodologias não têm em conta a propagação de onda sobre o perfil de praia, as transformações na morfologia que esse perfil pode sofrer por incidência das ondas, para além de serem desenvolvidas para situações muito específicas de praias, admitindo um conjunto de hipóteses e parâmetros para os quais se tem sempre de verificar a sua aplicabilidade em novos casos de estudo.

Assim, considera-se importante também recorrer a um modelo numérico que simule a propagação das ondas na zona de estudo, incluindo de forma integrada os fenómenos mais relevantes como a refração, difração, reflexão, rebentação, o espraçamento, o galgamento e a consequente inundação. O modelo XBEACH (eXtreme Beach behaviour) (Roelvink et al., 2009) é uma alternativa a considerar.

É neste contexto que surge o presente trabalho, em que se pretende comparar um conjunto de metodologias (fórmulas empíricas e modelo numérico) através da sua aplicação à zona da Costa da Caparica.

Saliente-se que já existe trabalho anterior nesta área com a utilização da metodologia de avaliação do risco de galgamento/inundação atrás referida, à zona da Costa da Caparica, que foi realizada por Martinho (2014). Esta autora procedeu à avaliação de risco nas praias de S. João da Caparica até à Praia Nova, considerando cinco anos de agitação marítima (de 2007 a 2012, 5 anos de dados). No entanto, tratou-se de uma avaliação com algumas limitações, dado o curto período de tempo de dados que foi considerado (que representa um obstáculo à fiabilidade da avaliação do risco, na medida em que não é um período suficientemente grande para se considerar representativo dos fenómenos que ocorrem no local). Neste seguimento, Heleno (2016) aproveitando os resultados de Martinho (2014) utilizou o modelo XBEACH, por considerar importante recorrer a um modelo de previsão de inundação/galgamento, onde os fenómenos relevantes sejam melhor descritos e onde haja uma alternativa no sentido do sistema HIDRALERTA se tornar um sistema mais fiável e robusto. De qualquer forma, Heleno (2016) apenas efetuou a aplicação do modelo XBEACH a duas tempestades, sendo por isso limitadas as conclusões retiradas.

Sendo assim, considera-se importante estender os trabalhos anteriores no sentido de se efetuar uma aplicação mais generalizada da metodologia de avaliação de risco ao galgamento/inundação, considerando um maior número de anos, neste caso de (2007 a 2016) e uma aplicação mais generalizada do modelo XBEACH.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo avaliar o risco de galgamento e inundação de sete praias da zona da Costa da Caparica, concelho de Almada, recorrendo à metodologia desenvolvida no âmbito do projeto HIDRALERTA (Fortes et al., 2013) e utilizando quer fórmulas empíricas quer o modelo numérico XBEACH, para o cálculo do espreamento e consequente inundação.

Assim, no seguimento das dissertações de Martinho (2014) e de Heleno (2016), o presente trabalho utiliza dados de agitação marítima ao largo, fornecidos por um modelo de previsão da agitação marítima, o modelo WAVEWATCH III (Tolman, 1991) de 2007 a 2016, 10 anos de dados. Esses valores são transferidos desde o largo para locais em frente a cada uma das praias da Costa da Caparica, utilizando o modelo SWAN de modo a caraterizar o regime de agitação marítima nesses locais.

De seguida, para além da utilização das fórmulas empíricas para o cálculo runup, do galgamento e da inundação no sistema HIDRALERTA, é aplicado a um conjunto de 4 tempestades o modelo

numérico XBEACH (eXtreme Beach behaviour) (Roelvink et al., 2009), modelo de previsão do efeito de tempestades marítimas na erosão e inundação de zonas costeiras.

Os resultados numéricos em termos de espraçamento (runup), de inundação e de galgamento para as várias praias da Costa da Caparica, são comparados com valores obtidos por fórmulas empíricas, permitindo assim avaliar o desempenho do modelo XBEACH.

Por fim, com base nos resultados obtidos quer por fórmulas empíricas quer pelo modelo numérico é determinado o grau de risco de inundação para cada praia em estudo.

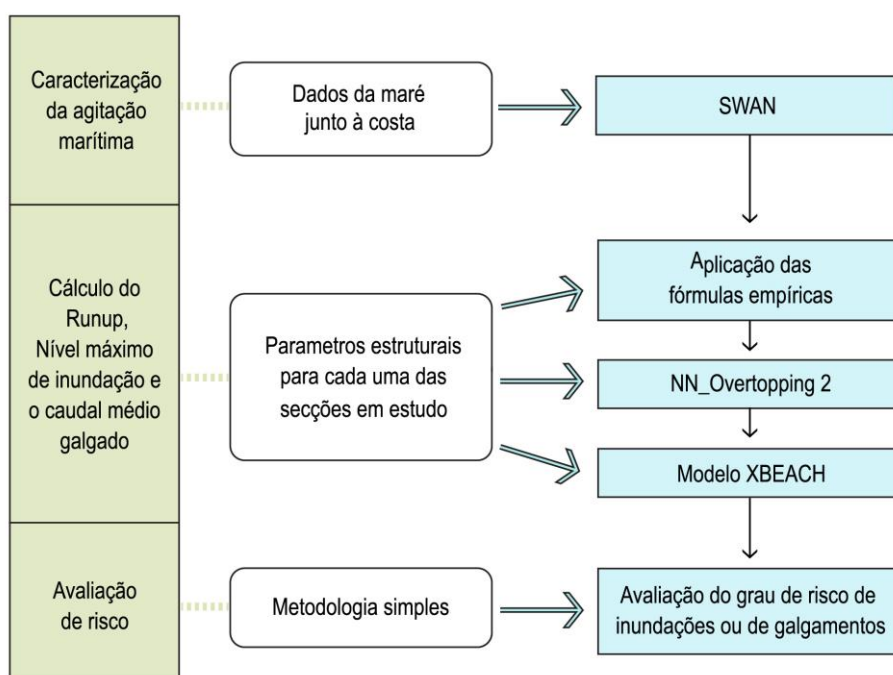
1.3 Metodologia

A metodologia adotada nesta dissertação para as sete praias da Costa da Caparica foi semelhante à aplicada por Martinho (2014) e Heleno (2016). Esta metodologia pode basear-se em três fases:

- ❖ Caracterização da agitação marítima em frente a cada uma das praias da Costa da Caparica. Com base em cerca de 9 anos (outubro de 2007 e agosto de 2016) de dados de agitação marítima (HS, Tp, Dirmed), fornecidos pelo WAVEWATCH III (WWIII), efetua-se a propagação desses dados para pontos em frente às sete praias da Costa da Caparica com o modelo SWAN e aí estabelecem-se regimes de agitação marítima;
- ❖ Cálculo do runup e do galgamento. Este cálculo é efetuado com duas metodologias:
 - São aplicadas fórmulas empíricas para a determinação do espraçamento (runup)/galgamento, ao longo de vários perfis estabelecidos em frente a cada uma das praias da Costa da Caparica, o que permite o cálculo das cotas de inundação e do caudal médio galgado na zona protegida, considerando os 9 anos de dados de agitação marítima obtidos no ponto correspondente a cada praia. O Nível Máximo de Inundação é obtido pela soma do espraçamento (runup) com o nível de maré, tendo ainda em consideração o efeito da sobrelevação meteorológica do nível do mar. A regra foi considerar um perfil por praia, sendo a Praia de S. João da Caparica exceção, com 6 perfis de praia executados na campanha de 6 de dezembro de 2016. No caso das praias sem estrutura de proteção aderente, as fórmulas empíricas utilizadas para o cálculo do runup e do nível máximo de inundação, foram as desenvolvidas por Hunt (1959), Holman (1986), Stockdon et al. (2006), Nielsen e Hanslow (1991), Ruggiero et al. (2001), Guza e Thornton (1982) e Teixeira (2009). Da Praia do Norte à Praia Nova, onde o perfil tem estrutura de proteção aderente foi utilizada a metodologia de Mase et al. (2013), que inclui o cálculo do runup e do caudal médio galgado por metro linear de

estrutura. A aplicação desta metodologia implica que sejam conhecidas as características físicas da estrutura de proteção e da praia;

- Numa segunda fase efetuou-se a comparação dos resultados do modelo XBEACH (NMI e o caudal médio galgado) com as fórmulas empíricas. No entanto, devido ao tempo elevado de cálculo do modelo para cada condição de agitação marítima, não foi possível efetuar os cálculos para toda a série temporal de 10 anos. Decidiu-se assim selecionar quatro situações de tempestade designadas por tempestade 1, tempestade 2, tempestade 3 e tempestade 4. As tempestades foram selecionadas recorrendo a critérios baseados na altura da onda ao largo (Hso) (com base nos resultados do WWII) e em acontecimentos relatados pelos meios de comunicação social.
- ❖ Avaliação do risco de galgamento e inundação, recorrendo à metodologia simples, Figura 1.3;
- ❖ Determina-se o grau de probabilidade da ocorrência de valores de runup/galgamento que excede limites pré-estabelecidos em cada praia;
- ❖ Qualificam-se (através de uma escala, em graus) as consequências da ocorrência de inundações/galgamentos;
- ❖ Calcula-se o grau de risco através do produto dos graus atribuídos à probabilidade de ocorrência de inundações/galgamentos e às suas consequências de inundação/galgamento.



1.4 Estrutura e organização da dissertação

A dissertação está repartida em 6 capítulos e 5 anexos, sendo que:

- ❖ Capítulo 1 – Introdução: Exposição da problemática em que se insere a dissertação e qual o seu objetivo, passando pela descrição da metodologia aplicada e da sua estrutura;
- ❖ Capítulo 2 – Modelos implementados: Breve introdução dos métodos de previsão da agitação marítima, bem como das características e fenómenos que ocorrem nas zonas costeiras; Descrição das abordagens e metodologias adotadas nesta dissertação, mais concretamente as formulações empíricas, o modelo numérico XBEACH, para a determinação do runup, NMI e caudal galgado e breve explicação da metodologia de avaliação de risco.
- ❖ Capítulo 3 – Caso de estudo: Descrição geral do local de estudo, dinâmica da costa e das praias;
- ❖ Capítulo 4 – Aplicação das fórmulas empíricas e do modelo XBEACH: Caracterização das condições de agitação marítima; Descrição das condições de aplicação das fórmulas empíricas e do modelo XBEACH, bem como dos critérios considerados na seleção das tempestades utilizadas;
- ❖ Capítulo 5 – Análise de resultados: Apresentação e comparação dos resultados obtidos através das metodologias descritas e aplicadas no caso de estudo apresentado, fórmulas empíricas, modelo XBEACH e avaliação de risco;
- ❖ Capítulo 6 – Conclusões e desenvolvimentos futuros: Apresentação das conclusões obtidas neste trabalho, bem como referência a desenvolvimentos futuros que poderão otimizar a metodologia aplicada.

Capítulo 2 - Metodologias

Nesta dissertação, as fórmulas empíricas e o modelo XBEACH são as metodologias utilizadas, de modo a obter as estimativas dos valores de runup, nível máximo de inundação e caudal médio galgado por metro linear de estrutura. A metodologia utilizada para a avaliação do risco de galgamentos é a descrita em Fortes et al. (2013c).

Neste capítulo é feita uma breve revisão das metodologias referidas, salientando-se os aspetos mais importantes das mesmas.

2.1 Caraterização da agitação marítima

A agitação marítima é caracterizada, essencialmente através dos 3 parâmetros seguintes: a altura de onda significativa (H_s), o período de pico (T_p) e a direção média (Dir).

As características de agitação marítima podem ser obtidas por medições *in situ* ou estimadas através de modelos numéricos, sendo que estes são um grande recurso na caraterização da agitação marítima pois são menos dispendiosos e fornecem resultados sem falhas, como acontece por vezes na monitorização *in situ*. Por outro lado, a monitorização *in situ* é a metodologia mais precisa.

2.1.1 Monitorização da agitação marítima

A monitorização consiste num registo feito de forma pontual no espaço e no tempo, através por exemplo de boias-ondógrafos, constituído por deslocamentos verticais (elevações) e deslocamentos horizontais nos sentidos norte-sul e este-oeste.

Relativamente à monitorização *in situ* em Portugal, os registos são transmitidos para uma estação recetora, que recebe e descodifica os dados fazendo um controlo da qualidade da medição, sendo que em muitos casos existem pouco dados disponíveis e mesmo esses são relativamente recentes ou com falhas inerentes ao funcionamento dos equipamentos, dificultando a sua utilização em estudos que exigem precisão.

Existem diversas razões para esses casos de falhas, como por exemplo:

- ❖ Dificuldade na comunicação telemétrica com a boia ou com a componente terrestre o que provoca um atraso na atualização superior ao esperado.

- ❖ Inoperacionalidade da boia provocada pela recolha da mesma para a reparação/manutenção ou pela agressão natural (tempestade marítima) ou humana (abaloamento da boia), não se encontrando na posição devida ou estando impossibilitada de transmitir ou recolher dados.

Para esta presente dissertação a boia-ondógrafo (Figura 2.1) relevante encontra-se a oeste do Bugio, na entrada do canal da barra Sul e pertence ao porto de Lisboa.



Figura 2.1 - Boia ondógrafo adaptado do porto de Lisboa

2.1.2 Modelo de caracterização da agitação marítima ao largo

O modelo WAVEWATCH IIITM - WWIII (Tolman 1997, 1999, 2009), desenvolvido no *Marine Modeling and Analysis Branch do Environmental Modeling Center do National Centers for the Environmental Prediction*, é um modelo de terceira geração e baseia-se nos modelos I e II do WAVEWATCH, desenvolvidos na *Delft University of Technology* e na *NASA Goddard Space Flight Center*, respetivamente.

Este modelo de terceira geração distingue-se dos outros possibilitando que os comprimentos de onda se propaguem em várias direções, aumentando ou decaindo consoante o comportamento do vento e o decorrer do tempo, à medida que ocorrem interações de onda-onda (Stewart, 1980).

O modelo baseia-se na parametrização dos termos de fonte e dissipação de energia, direções de onda e campo de ventos. (Faria, 2009).

Para a caracterização da agitação marítima ao largo, na zona da Costa da Caparica (praia de São João da Caparica), Neves (2013) e Martinho (2014) utilizaram os resultados num ponto de grelha do WWIII próximo daquela zona, considerando apenas uma série temporal de 5 anos, 2007 a 2012.

Na presente dissertação a série temporal extraída do modelo WWIII varia entre 2007 e 2016.

2.1.3 Modelo de caracterização marítima junto à costa - Modelo SWAN

O SWAN (Simulating Waves Nearshore) é um modelo espectral desenvolvido pela Universidade de Tecnologias de Delft, de alta resolução, regional e de terceira geração que permite obter estimativas de parâmetros de onda em zonas costeiras e lagos, tendo como input condições de fronteira, dados batimétricos, campos de ventos e de correntes. Toda a informação sobre a superfície do oceano está contida na variância do espectro de onda ou no espectro direcional, distribuindo energia por frequências e direções de propagação de onda (The SWAN team, 2007).

O modelo SWAN é um modelo numérico espectral de média em fase *open source* de propagação da agitação marítima, que se baseia na equação de conservação da ação da onda. O modelo simula a geração de ondas de gravidade na superfície do mar através da ação do vento, efetuando posteriormente a sua propagação, tendo em conta variados fenómenos intervenientes na mesma. Este modelo é adequado para zonas costeiras desde águas profundas até águas pouco profundas.

Este modelo, como o SWAN de propagação das ondas de vento em zonas costeiras nascem da necessidade de complementar os modelos de águas profundas, como o modelo WAVEWATCH III (Tolman, 2002), já que estes não contemplam os fenómenos físicos presentes em águas de profundidade, tais como o atrito do fundo, empolamento, rebentação induzida pelo fundo e reflexão. O seu princípio físico é o mesmo de outros modelos como o WAM e o WWIII. Mas, o WAM considera problemas em escala oceânica, ao contrário do SWAN que calcula a propagação das ondas desde águas profundas até à zona de rebentação. A diferença está na utilização de métodos implícitos pelo SWAN, mais robustos em águas pouco profundas que os explícitos, o que o torna pouco indicado para escalas oceânicas.

Os processos de propagação de ondas representados são: propagação através do espaço geográfico, refração, difração, empolamento, bloqueio e reflexão devido a correntes opostas e transmissão, bloqueio ou reflexão devido a obstáculos. A geração de ondas devido ao vento, a dissipação por rebentação da crista provocada por mudanças de profundidade e por atrito do fundo, e as interações entre ondas, são processos de geração e dissipação considerados neste modelo. Para o funcionamento deste modelo é necessária a definição de uma grelha computacional associada a uma grelha batimétrica. A propagação da agitação recorre a esquemas numéricos implícitos. Associadas a estas grelhas, definem-se ainda as condições de fronteira que poderão resultar do acoplamento com modelos de águas profundas tais como o WAM ou o WWIII que operam a uma escala oceânica (Ramos, 2014).

O modelo SWAN fundamenta-se na equação de balanço espectral da densidade da ação de onda. Esta pode ser utilizada de duas formas distintas em coordenadas esféricas para computação de grande escala, ou coordenadas cartesianas de menor escala, esta última utilizada nesta dissertação.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{total}}{\sigma} \quad (1)$$

onde N é a densidade espectral da ação da onda, em função da frequência relativa σ e da direção θ : $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$; c_x e c_y correspondem às velocidades de propagação no espaço e c_σ e c_θ às velocidades de propagação no espectro.

De certa forma, a equação (1) observando-se da esquerda para a direita, compreende-se como a taxa de variação local da densidade de ação no tempo, os dois termos seguintes correspondem à propagação no espaço geográfico, o termo principal e mais representativo da refração induzida pelo fundo e correntes, e por final a variação da frequência relativa devido às variações do fundo e correntes (Neves, 2013). Do lado direito da equação (1), está representado o crescimento da onda pelo vento, pelas trocas de energia devidas a interações não lineares entre ondas bem como a dissipação por processo de rebentação ou atrito de fundo, i.e., as fontes e sumidouros.

Assim, S_{Total} pode também ser descrito por:

$$S_{total} = S_{in} + S_{nl} + S_{diss} \quad (2)$$

onde S_{in} é a energia gerada pelo vento, S_{nl} as interações não-lineares e S_{diss} a dissipação da energia da onda (Neves, 2013).

Para podermos executar o SWAN são necessários vários *inputs* que dependem do local de estudo, Figura 2.2:

- ❖ Batimetria do local;
- ❖ Grelha computacional;
- ❖ As coordenadas do ponto para os quais se pretende os resultados;
- ❖ Dados de agitação ao largo.

Nesta dissertação, à semelhança de dissertações realizadas por Neves (2013), Martinho (2014) e Heleno (2016) para a melhoria dos resultados são utilizadas malhas com diferentes resoluções, sendo que as malhas exteriores (de menor resolução) fornecem as condições de fronteira para as malhas de maior resolução.

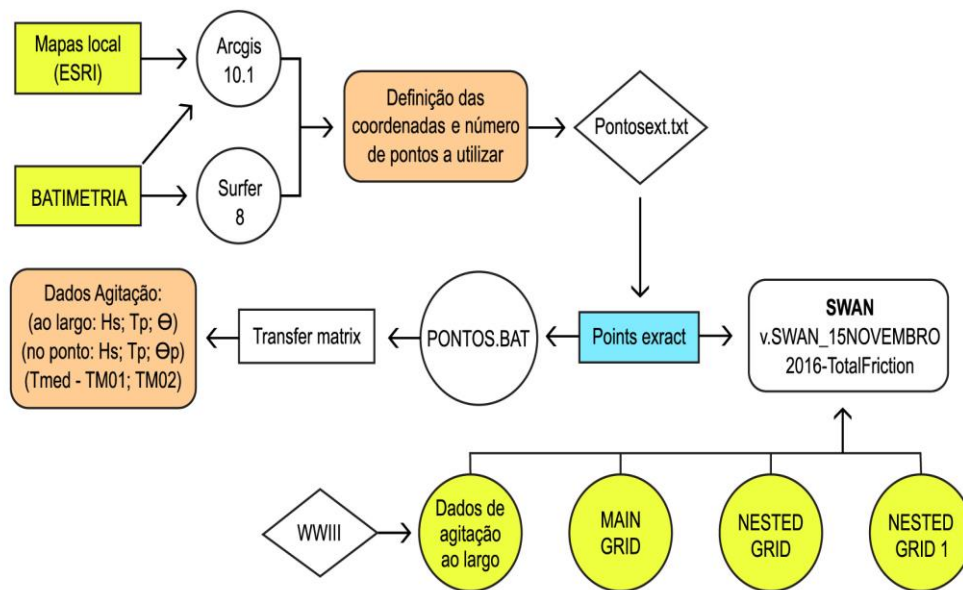


Figura 2.2 -Diagrama de funcionamento do SWAN

Outras variáveis como o campo de ventos e a corrente podem ser utilizadas para melhorar os resultados. Nesta dissertação, as mesmas não foram consideradas devido à falta de informação disponível.

São vários os parâmetros resultantes do modelo: altura de onda (Hs); período de pico da onda (Tp); direção de propagação (θ); período médio (Tmed); direção média de onda (θ_{med}). Destes, Hs, Ts e θ são os mais relevantes.

Neves (2013) utilizou os resultados do modelo WWIII no modelo SWAN, para determinar a agitação marítima no local da boia-ondógrafo em frente à Costa da Caparica, de modo a efetuar a comparação entre os resultados numéricos e os dados medidos da boia. Esta comparação realizada por Neves (2013), teve o propósito de validar o modelo SWAN, de modo a ter confiança nos resultados do modelo para o cálculo da agitação marítima, na praia de São João da Caparica, na Costa da Caparica. Neves (2013) concluiu que não existiam diferenças significativas nos dois conjuntos de valores (modelo e boia-ondógrafo), havendo uma boa concordância em termos de andamento e magnitude, entre resultados numéricos e medidos.

2.2 Caracterização do runup e galgamentos em praias

A ocorrência de condições de agitação significativas associadas a níveis de maré elevados, junto à costa pode gerar consequências em termos de runup, galgamentos e inundação que, por sua vez, podem ter impactos gravíssimos junto das populações e das infraestruturas adjacentes às praias.

Nesta dissertação são aplicadas fórmulas empíricas e o modelo numérico, com diferentes abordagens de cálculo, de modo a estudar o runup e o galgamento na zona costeira.

2.2.1 Noções principais do runup e galgamentos em praias

Para compreender o fenómeno do runup e do galgamento, é essencial conhecer as principais características das zonas costeiras. Segundo Komar (1976), aqueles fenómenos são influenciados pela morfologia das praias. No entanto, o fato de a costa ser bastante ativa, dificulta o estabelecimento de limites bem definidos para diferentes zonas que constituem o sistema praia e por consequência, a sua caracterização. As alterações morfológicas incluem escala e posição relativa, variando no tempo e podendo ser tão efêmeras quanto à duração de uma maré. Esta ação hidrodinâmica prende-se com a ação das correntes, do vento e das marés (Silva, 2012; Schwartz, 2005).

Os conceitos de perfil de praia mais comum podem variar de autor para autor, mas de acordo com o âmbito desta dissertação, a representação do perfil e das principais zonas de praia, destacam-se na Figura 2.3, dividindo-se em três zonas distintas, segundo Silva (2012): ante-praia, face da praia e pós-praia

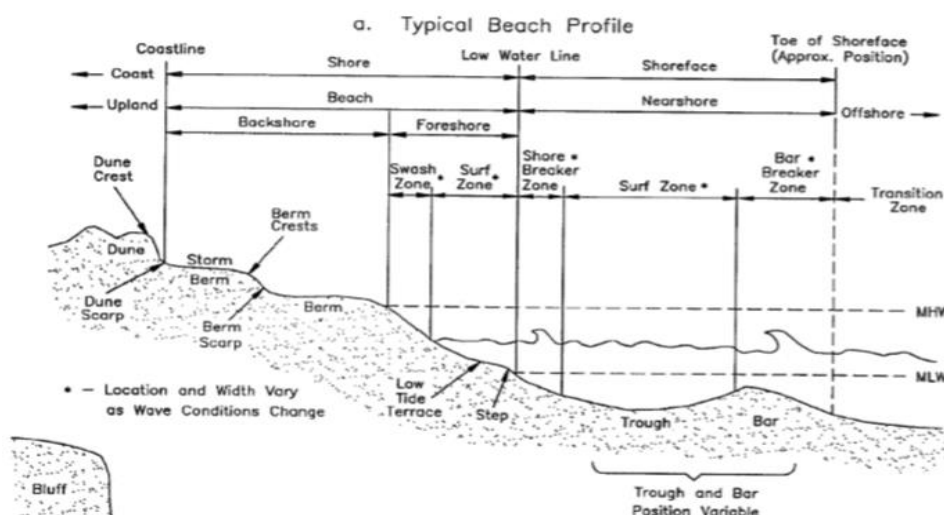


Figura 2.3 - Perfil de praia comum (USACE,2002)

A ante-praia (backshore) é caracterizada pela parte mais elevada da praia, que geralmente em condições normais é uma parte da praia que está seca. Só em condições extremas é que é exposta a ondas com o nível de maré alto ou em tempestades. Alguns exemplos de ante-praia são as dunas, as arribas, as escarpas ou estruturas de proteção aderente.

A face da praia (foreshore ou beach face) é caracterizada geralmente pelo limite inferior ser atingido no nível de baixa-mar. Durante a preia-mar o foreshore encontra-se maioritariamente submerso.

A pós-praia (nearshore) é caracterizada pela zona entre o nível de baixa-mar e a zona de rebentação das ondas, sendo aqui que se inicia o processo de formação de recursos potenciais bióticos e abióticos, ou seja, dá-se início ao processo de formação da praia.

Na tabela seguinte são definidos alguns elementos, características e processos constituintes do sistema praia.

Tabela 2.1 - Principais conceitos do sistema praia (Silva, 2012)

Conceitos	Descrição
Offshore	Zona posterior à formação das ondas, a partir da qual a profundidade deixa de sofrer modificações significativas.
Backwash (Refluxo)	Movimentação da água, após o espraio na direção do oceano pela ação da gravidade.
Runup	Nível atingido pela água na praia, após a rebentação e normalmente é superior à altura da onda.
Swash ou Uprush (Afluxo, enchente ou espraio)	Movimentação ascendente da água da onda incidente, após a rebentação, através da face da praia.
Swash zone (Zona de Espraio ou Ressaca)	Zona da face de praia em que ocorre o espraio da onda.
Surf zone	Zona onde as ondas que quebram na zona de rebentação, se estendem ao longo da face de praia.

Breaker zone (Zona de rebentação)	Faixa correspondente à diminuição de profundidade que provoca a rebentação das ondas. Pode ser mais ou menos larga, consoante as características da onda e o pendor do fundo.
Edge waves	Ondas refratadas que viajam quase paralelamente em direção à costa e interagem com as ondas que se dirigem para a costa.

Para completar a definição de runup apresentada na Tabela 2.1, uma onda ao rebentar sobre um talude, sobe e desce sobre o mesmo, dando origem ao espraçamento (runup) e ao refluxo (Backwash) (Figura 2.4). O espraçamento é a diferença entre a cota máxima atingida pela onda e o nível de repouso da água. O refluxo é a diferença entre a cota mínima atingida pela onda de repouso da água.

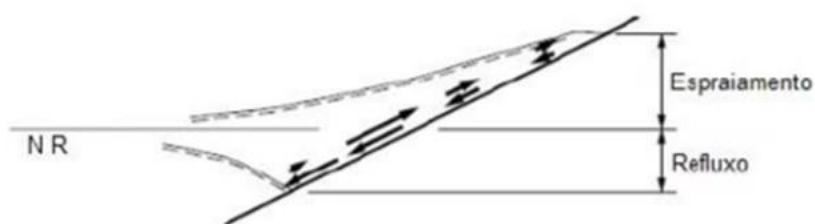


Figura 2.4 - Espraçamento e refluxo (adaptado de USACE, 2006)

Por outro lado, tem-se praias em que o que importa estudar é o caudal médio galgado, por serem compostas por estruturas de proteção aderentes. Quando as estruturas não são compostas por um talude muito extenso, ou a cota de coroamento muito elevada, dá-se o galgamento de água sobre o coroamento da estrutura, sendo que isso pode causar danos para a população e para as infraestruturas adjacentes.

O galgamento é comumente expresso em unidades de caudal médio por metro linear de largura da estrutura, isto é, em m^3s^{-1}/m , ou em ls^{-1}/m e depende maioritariamente da altura significativa da onda no pé de estrutura H_s , do comprimento de onda L , da distância R_c entre a cota de coroamento da estrutura, e o, nível médio da água (NMA), da profundidade da água no pé da estrutura d_s , período da onda T , da inclinação da estrutura de defesa, α , da aceleração gravítica g e do ângulo de incidência da onda β (Afonso, 2011), Figura 2.5.

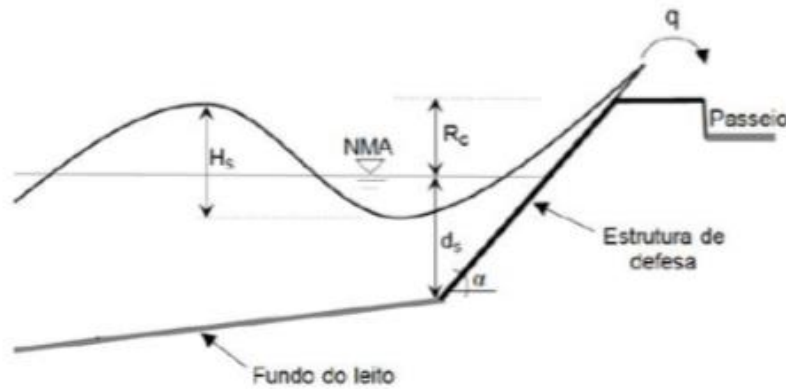


Figura 2.5 - Galgamento de uma estrutura de proteção aderente (Afonso,2011)

O galgamento pode ocorrer de três formas distintas de transposição de volume de água (Afonso,2011):

- ❖ Green water – transposição quando a cota máxima de espraçamento excede a cota de coroamento da estrutura e se cria uma lâmina contínua de água, que passa sobre a estrutura;
- ❖ Splash – transposição quando a onda rebenta sobre a parede exterior da estrutura e origina um grande volume de salpicos que passa sobre a estrutura;
- ❖ Spray – transposição sob a forma de borrifos que ocorre apenas por acção do vento.

2.2.2 Fórmulas empíricas

Ao longo das últimas décadas foram desenvolvidas por diversos autores várias fórmulas empíricas, quer para o runup, quer para o galgamento em praias. As estruturas influenciam a dinâmica e a morfologias da praia, interferindo em diversos fenómenos físicos.

Conforme as praias tenham ou não estruturas de proteção, existem fórmulas específicas para cada caso. As fórmulas foram utilizadas para determinar o runup, o NMI ou o caudal galgado, que posteriormente foram comparados com o valor obtido do modelo de XBEACH. Depois de comparados esses valores foi feita uma avaliação do risco de inundação.

2.2.2.1 Estudo da metodologia do runup em praias e cálculo do Nível Máximo de Inundação

Para o cálculo do runup existem diversas fórmulas empíricas, desenvolvidas por diferentes autores, baseadas em ensaios laboratoriais ou medições *in situ*.

As fórmulas normalmente utilizadas por todos os autores de dissertações anteriores para o cálculo do runup em praias sem estrutura de proteção aderentes foram desenvolvidas por Hunt (1959), Holman (1986), Stockdon et al. (2006), Nielsen e Hanslow (1991), Ruggiero et al. (2001), Guza e Thornton (1982) e Teixeira (2009).

Estas fórmulas foram escolhidas por terem sido utilizadas em praias com características semelhantes às estudadas nesta dissertação e por serem já utilizadas em dissertações anteriores.

Hunt et al. (1959)

Hunt, através de uma série de ensaios laboratoriais estudou o comportamento das ondas quando atingem obras de proteção costeira, ou seja, como ocorre a dissipação de energia das ondas, especialmente o uprush. O autor assumiu que é conhecido o *storm water level* (nível de água de tempestade) que é dado pela soma do nível médio da maré com a sobrelevação devida ao vento. O termo “deep water” (águas profundas) considera que $D/L > 1/2$, em que D é a altura de água desde o fundo até ao nível de água de tempestade, e L o comprimento de onda num dado ponto. Ou seja, considera que a água é profunda quando é maior do que metade do comprimento de onda à superfície. O período da onda, T, foi considerado constante nas aproximações à costa. As ondas aproximam-se da estrutura de frente e as alturas de onda não são afetadas pela refração. Contudo, é considerado o declive existente na praia e as ondas também se aproximam frontalmente.

Holman (1986)

Holman teve como seu principal objetivo analisar, a existência de valores extremos de runup. Assim determinou o valor máximo de runup para 149 séries de dados de 35 minutos, com um período de 2 a 5 anos, utilizado os dados de agitação marítima oriundos de uma boia ao largo da praia, sensivelmente, a 20 m de profundidade.

O autor conclui que a determinação de runup deve ser feita através do número de Iribarren e dos coeficientes de regressão obtidos através de resultados experimentais. Para Neves (2013), a utilização desta formulação tem de ser bem justificada, pois apesar dos resultados obtidos serem de elevada qualidade, eles são provenientes de um único local de estudo. Por isso, é aconselhável que a formulação só seja aplicada para condições semelhantes às do local de estudo, em Duck, North Carolina, nos Estados Unidos da América.

P. Nielsen e D. J. Hanslow (1991)

Nielsen e D. J. Hanslow, analisaram a distribuição do runup das ondas nas praias naturais de New South Wales, na Austrália, variando na morfologia das mesmas do tipo refletivo (praias íngremes) ao dissipativo (praias planas). Segundo os autores o runup pode assumir formas bastante diferentes pois depende do declive da praia, do declive da onda, da rugosidade do talude e da permeabilidade do talude.

Os autores compartilhando da mesma opinião de Holman (1986) afirmam que o número de Iribarren é importante na determinação do runup. Para determinar o runup, os autores estabelecem para as praias refletivas, uma relação de proporcionalidade entre o parâmetro por eles utilizado para o cálculo do runup e o declive. Já para as praias dissipativas onde o declive não tem grande influência, estabeleceram uma relação de proporcionalidade entre a altura de onda média quadrática ao largo e o comprimento de onda ao largo.

Ruggiero et al. (2001)

Ruggiero et al. (2001) através da análise de probabilidades de níveis elevados de água, devido às marés afetadas por vários fenômenos oceanográficos e atmosféricos e de runup provocados pela tempestade nas praias, avalia a sensibilidade das zonas costeiras à erosão provocada pela agitação marítima. A aplicação é para a costa de Oregon, onde as marés medidas muitas vezes excedem as marés astronômicas previstas por dezenas de centímetros, especialmente durante a ocorrência de um El Niño. As medições de onda em praias dissipativas típicas da costa de Oregon, dependem principalmente da altura de onda significativa em águas profundas, mas quando, combinadas com outros conjuntos de dados mostram alguma dependência do período de onda e da inclinação da praia. O objetivo é avaliar a frequência com que a água pode atingir a propriedade, proporcionando uma avaliação da suscetibilidade à erosão potencial. A aplicação é feita a um número de locais ao longo da costa de Oregon.

Stockdon et al. (2006)

Stockdon et al. (2006) baseou-se no trabalho desenvolvido por Holman (1986), para praias naturais, utilizando 10 praias. Desenvolveu então uma parametrização simples que avalia o runup máximo em praias, definindo o valor de excedência de 2%. O autor considera que o runup depende de dois processos dinamicamente diferentes, “swash” e “setup”, cada um parametrizado separadamente. O “Setup” é parametrizado recorrendo ao número de Iribarren e o “swash” é parametrizado recorrendo a bandas de frequência infragravíticas. Em praias dissipativas dominadas por infragravidade, as magnitudes tanto do “setup” como do “swash” utilizando as

componentes de frequência incidente e de infragravidade em conjunto, dependem apenas da altura e comprimento de onda.

Guza e Thornton (1982)

Guza e Thornton (1982) desenvolveram uma relação linear entre o valor significativo do runup e a altura de onda significativa, a partir de valores obtidos por medições realizadas em praias dissipativas na Califórnia. Para Matias et al. (2012) a formulação desenvolvida por Guza e Thornton (1982) tem resultados superiores a outras formulações, por exemplo a de Stockdon et al. (2006), para as mesmas condições.

Teixeira (2009)

Segundo Teixeira (2009), as diversas formulações que permitem o cálculo da altura de espraio das ondas podem ser divididas em dois grupos, dependendo da complexidade das fórmulas e das variáveis necessárias para a sua resolução. Um primeiro grupo de fórmulas, mais simples, que relacionam diretamente a altura do espraio com a altura da ondulação incidente e um segundo grupo de equações, mais complexas, que além da altura da ondulação, consideram ainda os outros parâmetros escalares da ondulação e o declive da estrutura natural (p. ex. praia) ou artificial (p. ex. enrocamento), onde as ondas incidem. O mesmo autor propõe formulações genéricas para praias naturais e arribas mergulhantes, baseando-se no longo período de recolha de dados e informações no litoral sul do Algarve.

Os autores indicados em cima desenvolveram todas as fórmulas empíricas que calculam o runup. Devido à natureza estocástica do runup, este é geralmente caracterizado com base em parâmetros estatísticos, como por exemplo: runup máximo (R_{max}), que pode ser calculado pelo espraio que atinja a maior cota; runup significativo (R_s), que corresponde à média do terço dos valores mais altos de runup, ou um percentil de runup, geralmente 2% ($R_{2\%}$).

Na Tabela seguinte, apresenta-se as formulações utilizadas na metodologia escolhida para esta dissertação, que se aplicam em praias sem estrutura de proteção.

Tabela 2.2 - Fórmulas adotadas no cálculo do runup em praias sem estruturas de proteção aderente e respectivos autores (adaptado de Martinho,2014).

Autores	Fórmulas	
Hunt (1959)	$R_{2\%} = \tan\beta(H \cdot L_0)^{0.5}$ com rebentação	(3)
	$R_{2\%} = 3H_s$ rebentação de fundo	(4)
Holman (1986)	$R_{2\%} = H_0(0.83\xi + 0.20)$ agitação ao largo	(5)
	$R_{2\%} = H_s(0.78 \xi_s + 0.20)$ agitação junto à costa	(6)
Nielsen e Hanslow (1991)	$R_{2\%} = L_{RU} (-\ln(0.02))^{0.5}$	(7)
	$L_{RU} = 0.05 (H_{orms} \cdot L_0)^{0.5}$ se $\tan\beta < 0.1$	(8)
	$L_{RU} = 0.6 \tan\beta \cdot (H_{orms} \cdot L_0)^{0.5}$ se $\tan\beta \geq 0.1$	(9)
Ruggiero et al. (2001)	$R_{2\%} = 0.27 (\tan\beta \cdot H_0 \cdot L_0)^{0.5}$ praias dissipativas	(10)
	$R_{2\%} = 0.5 H_0 \cdot 0.22$ praias dissipativas a refletivas	(11)
Stockdon et al. (2006)	$R_{2\%} = 0.043 (H_0 \cdot L_0)^{0.5}$ se $\xi < 0.3$	(12)
	$R_{2\%} = 1.1 \cdot (0.35 \tan\beta \cdot (H_0 \cdot L_0)^{0.5} + [(H_0 \cdot L_0 \cdot 0.563(\tan\beta)^{0.5} + 0.004)]^{0.5} / 2)$ se $\xi \geq 0.3$	(13)
Guza e Thornton (1982)	$R_s = 0.71 H_0 + 0.035$ praias dissipativas	(14)
Teixeira (2009)	$R_{m\acute{a}x.} = 0.80 H_s + 0.62$ (mais antiga)	(15)
	$R_{m\acute{a}x.} = 1.08 H_s \cdot \xi_0$ (mais recente)	(16)

Entre as muitas formulações apresentadas muitas dependem do comprimento de onda (L_0) ou do número de Iribarren (ξ), que é influenciado pelo mesmo comprimento de onda (L_0) e pela altura de onda (H) ou significativa (H_s) definida por cada autor. O número de Iribarren é determinado através da equação (17):

$$R_{2\%} = \tan\beta(H/L_0)^{0.5} \quad (17)$$

Após o cálculo do runup numa dada zona costeira, interessa de seguida calcular o NMI. Raposeiro et al. (2013) sugere utilizar o nível da maré astronómica (MA) referido ao zero hidrográfico (ZH), a sobrelevação (SL) e o runup com a probabilidade de não excedência de 2% como podemos observar na equação (18):

$$NMI = MA + SL + R_{2\%} \quad (18)$$

Contudo esta abordagem é bastante simplificada, dada a quantidade de fenómenos que ocorrem todo o ano nas zonas costeiras, contudo, esta foi utilizada face aos dados disponíveis.

Deste modo, o nível máximo de inundação tem como objetivo a determinação do runup com probabilidade de não excedência de 2%. Como nem todas têm por resultado o $R_{2\%}$, há que considerar as seguintes equações, válidas quando se admite estar perante uma distribuição de Rayleigh para os runups individuais (Neves, 2013):

$$R_S = R_{2\%}/1.4 \quad (19)$$

$$R_{\text{médio}} = 0.63 * R_S \quad (20)$$

$$R_{1\%} = 1.52 * R_S \quad (21)$$

De maneira a facilitar a determinação do runup, através das fórmulas empíricas foi utilizado o programa de cálculo, em linguagem FORTRAN (Fortes et al., 2013a), esquematizado na Figura 2.6 e descrito no Anexo A.

O programa regista em ficheiro através da metodologia de cada um dos autores, os valores de $R_{1\%}$, $R_{2\%}$, R_S , $R_{\text{máx}}$, $R_{\text{médio}}$ e nível máximo de inundação, necessitando de dois ficheiros de entrada.

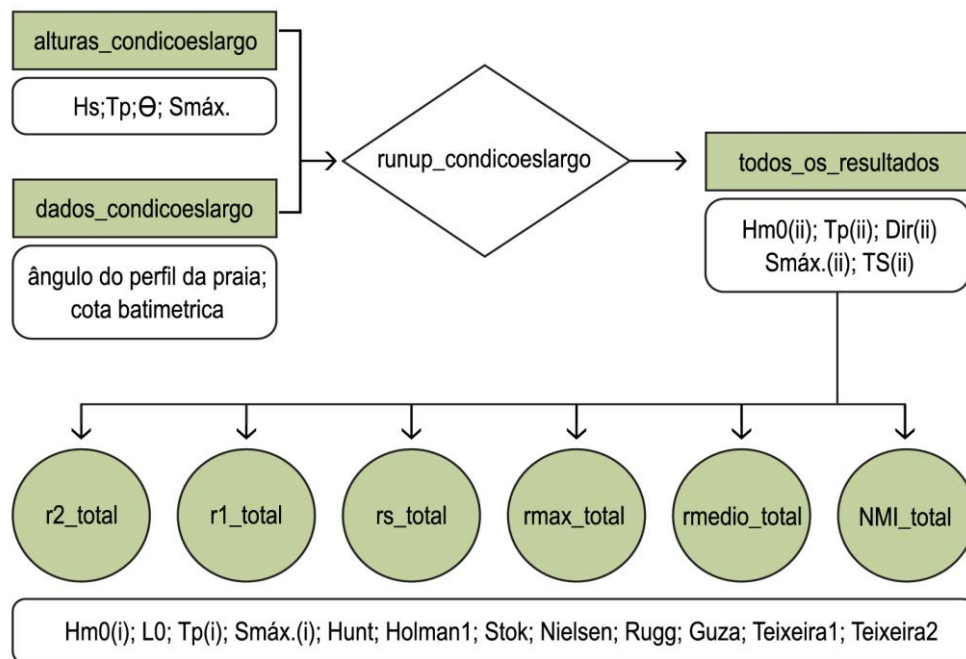


Figura 2.6 - Diagrama dos ficheiros de entrada e de saída do programa que determina o Nível Máximo de Inundação, através das fórmulas empíricas propostas por diversos autores.

2.2.2.2 Estudo da metodologia do galgamento em estruturas

Nesta dissertação, para o cálculo médio galgado por metro linear de estrutura, q (1/s/m) utilizou-se o conjunto de fórmulas apresentadas por Mase et al. (2013), que é específico para a previsão de runup e galgamento em estruturas de proteção costeira, construídas em terra ou em águas pouco profundas.

Mase et al. (2013) utilizou vários conjuntos de dados provenientes de ensaio físicos realizados por Mase et al. (2004) e os dados obtidos em três praias que se apresentam com uma estrutura de proteção, com declives entre 1:0.5 e 1:3. Os modelos foram construídos à escala 1:45 e também possuíam estrutura de proteção. Os declives de fundo considerados nos testes são 1/10, 1/20 e 1/30.

A metodologia proposta depois de compiladas as fórmulas de runup e galgamentos, foi a utilização das características das ondas em águas profundas, sendo adotado um conceito de declive imaginário.

Por declive imaginário entende-se uma linha que liga dois pontos, um no pé do talude onde se dá a rebentação (h_B) e outro no limite do runup (Saville, 1958), Figura 2.7. Como é necessário

conhecer o runup para se calcular o declive imaginário e vice-versa, o declive imaginário foi reformulado por Mase et al. (2013), sendo determinado através da fórmula:

$$\frac{1}{\tan \beta} \cot \beta = \frac{2Area}{(h_B + R)^2} \quad (22)$$

em que a $\tan \beta$ representa o declive imaginário, A é a área transversal da estrutura e da faixa litoral submersa, entre o local de rebentação das ondas e o nível de runup, h_B é a profundidade da água no ponto de rebentação da onda e o R representa o runup para ondas regulares.

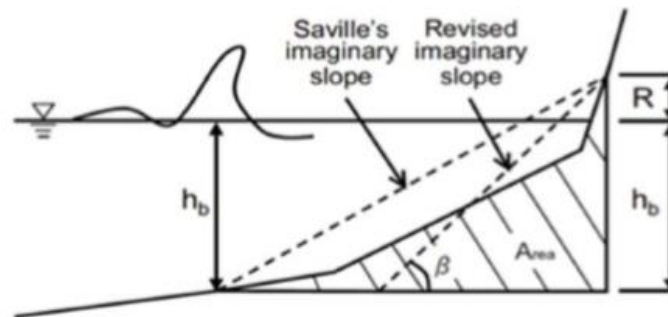


Figura 2.7 - Esquema da reformulação do declive imaginário

A profundidade de rebentação de ondas é determinada pelo modelo de Mase e Kirby (1993). É um modelo simples e eficaz na determinação deste parâmetro para ondas irregulares. As equações seguintes apresentadas na Tabela 2.3 para o cálculo do runup foram formuladas através de dois conjuntos de ensaios de dados experimentais para o cálculo do runup e do caudal galgado para estruturas de proteção aderentes. Na Tabela 2.4, apresentam-se as condições de aplicação das fórmulas de Mase et al. (2013).

Tabela 2.3 - Fórmulas para determinar o caudal galgado para praias com estrutura de proteção aderentes (Mase et al. 2013).

	Fórmulas	Condições de aplicação	
Runup	$R_{2\%} = H_0 * (2.99 - 2.73 \exp(-0.57 \tan \beta / \sqrt{H_0/L_0}))$	$0.2 < \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_0/L_0}} < 0.4$ approx	(23)
	$R_{1/10} = H_0 * (2.72 - 2.56 \exp(-0.58 \tan \beta / \sqrt{H_0/L_0}))$	$0.009 < \sqrt{H_0/L_0} < 0.06$	(24)
	$R_{1/3} = H_0 * (2.14 - 2.18 \exp(-0.70 * (\tan \beta / \sqrt{H_0/L_0})))$	$-0.37 < h / H_0 < 0.53$	(25)
	$(R_{\text{máx}})_{37\%,100} \approx 1.52 R_{1/3} \approx 1.09 R_{2\%}$		(26)
	$(R_{\text{máx}})_{99\%,100} \approx 2.15 R_{1/3} \approx 1.54 R_{2\%}$		(27)
Caudal Galgado	$q = 0$	$R_{\text{máx}} \leq R_C$	(28)
	$q = \sqrt{gH_0^3} * [0.018 * (R_{\text{máx}}/H_0)^{3/2} * \{1 - (R_C/H_0) / (R_{\text{máx}}/H_0)\}^{3.2}]$	$0 \leq R_C < R_{\text{máx}}$	(29)
	$q = 0$	$R_{\text{máx}} \leq R_C$	(30)
	$q = \sqrt{gH_0^3} * [0.018 * (R_{\text{máx}}/H_0)^{3/2} * \{1 - (R_C/H_0) / (R_{\text{máx}}/H_0)\}^{6.2}]$	$0 \leq R_C < R_{\text{máx}}$	(31)

Tabela 2.4 - Condições de aplicação na formulação de Mase et al. (2013).

Condição	Valor
Escala do modelo	1/45; 1/50
Altura de onda	3,8 – 12,82 (cm)
Período de pico	0,8s – 2,1 (s)
Declive da onda H_0/L_0	0,009 – 0,06
Profundidade da água	40,0; 42,5; 43,0; 45,0 (cm)
Declive do fundo do mar $\tan \theta$	1/10; 1/20; 1/30
Declive da estrutura de proteção $\cot \alpha$	0,5; 3,0

Segundo Pullen et al (2007), é necessário fazer uma correção ao valor de $R_{\text{máx}}$, antes de calcular o caudal galgado por metro linear de estrutura, de forma a contemplar o nível de permeabilidade e a rugosidade da estrutura. Caso exista uma bermã de coroamento permeável, de largura G_c , é aplicado um coeficiente de correção de redução do galgamento (C_r).

$$C_r = 3.06 * \exp\left(\frac{-1,5 * G_c}{H_{m0}}\right) \quad (32)$$

$$C_r = 1 \quad \text{se } C_r > 1 \text{ ou } \frac{G_c}{H_{m0}} < 0.75 \quad (33)$$

sendo que o caudal final (Q_s) é dado por:

$$Q_f = q * C_r \quad (34)$$

Nesta dissertação, com o objetivo de determinar o galgamento para as praias com estrutura de proteção aderente, aplicando a metodologia de Mase et al. (2013), vai utilizar-se o programa em linguagem FORTRAN desenvolvido por Fortes et al. (2013b), esquematizado na Figura 2.8.

Para obtermos os resultados pretendidos fornecidos pelo programa, são necessários quatro ficheiros de entrada, onde nesses ficheiros devem conter nomeadamente o comprimento de onda ao largo (L_0), a declividade da onda (H_0/L_0), a altura de rebentação adimensional (h_B/H_0), a razão entre profundidade do ponto inicial e o comprimento de onda, os runup's ($R_{2\%}$, $R_{1/10}$, $R_{1/3}$, $R_{\text{máx}}$), o caudal e o caudal final, afetado pelo fator de correção Pullen et al (2007) (C_r).

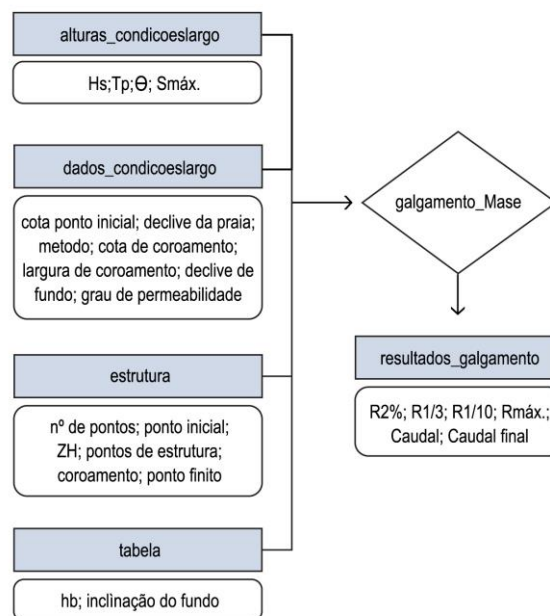


Figura 2.8 - Diagrama dos ficheiros de entrada e de saída do programa, que determina o caudal médio galgado, através das formulações empíricas propostas do Mase et al (2013).

2.2.3 Modelo XBEACH

O modelo XBEACH é um modelo bi-dimensional-horizontal, constituído por vários sub-modelos dos processos costeiros, como a propagação de ondas infra gravíticas e grupos de ondas gravíticas, espraiamento, erosão e galgamento de dunas, avalanche, transporte sedimentar e evolução do fundo (Roelvink et al., 2010). Foi desenvolvido com grande financiamento por parte do United States Army Corps of Engineers, do Rijkswaterstaat e da União Europeia, apoiada pelo UNESCO-IHE, pela Deltares, pela Delft University of Technology e pela University of Miami.

O modelo inclui processos hidrodinâmicos de transformação de ondas curtas (refração, empolamento e rebentação), transformação de ondas longas (onda de infragravidade) (geração, propagação e dissipação), configuração do fundo induzida pelas ondas e pelas correntes variáveis, bem como o galgamento e a inundação em zonas costeiras. Os processos morfodinâmicos incluem transporte de sedimentos em suspensão, escorregamento do talude da duna, alteração do fundo e erosão da duna. Os efeitos da vegetação e das estruturas foram incluídos. O modelo foi validado com uma série de casos analíticos, laboratoriais e de campo utilizando um conjunto padrão de configurações de parâmetros.

O XBEACH tem dois modos de funcionamento: um modo hidrostático e um não-hidrostático. No modo hidrostático, a variação da amplitude da onda curta é resolvida separadamente das ondas longas, correntes e alterações morfológicas. Isso economiza tempo computacional considerável com o processo, uma vez que, a fase das ondas curtas não é simulada. Um modelo mais completo é o modelo não-hidrostático que resolve todos os processos, incluindo movimentos de ondas curtas, mas com maior exigência computacional. Este último foi desenvolvido inicialmente como uma versão do modelo SWASH (Zijlema et al., 2011).

O objetivo do modelo XBEACH é modelar processos físicos costeiros nos quatro regimes de impacto de tempestade marítima, definidos por Sallenger (2000): regime de espraiamento, regime de colisão, regime de galgamento e regime de inundação.

A palavra swave permite ativar a simulação da influência das ondas curtas, através da equação de balanço espectral da densidade de ação, semelhante ao modelo HISWA da Universidade de Delft (Holthuijzen et al., 1989).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial C_{gx} A}{\partial x} + \frac{\partial C_{gy} A}{\partial y} + \frac{\partial C_{\theta} A}{\partial \theta} = \frac{Dw + D_f + Dv}{\sigma} \quad (35)$$

onde D representa os termos dissipativos de ondas (w), atrito de fundo (f) e vegetação (f); t, x, y, θ, σ descrevem a onda no tempo, direção zonal e meridional, direção e período do espectro, respetivamente e A representa a ação da onda descrita por:

$$A(x, y, t, \theta) = \frac{S_W(x, y, t, \theta)}{\sigma(x, y, t)} \quad (36)$$

onde S_W representa a densidade espectral da energia da onda para cada direção, e a frequência σ é descrita por:

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kh)} \quad (37)$$

e as velocidades de propagação do grupo de ondas C para as dimensões horizontais e da direção espectral são descritas por:

$$Cg_x(x, y, t, \theta) = C_g \cos(\theta) \quad (38)$$

$$Cg_y(x, y, t, \theta) = C_g \sin(\theta) \quad (39)$$

$$c_\theta(x, y, t, \theta) = \frac{\sigma}{\sin h(2kh)} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \sin \theta - \frac{\partial h}{\partial y} \cos \theta \right) \quad (40)$$

onde h representa a profundidade do local, k o número de onda, e g a gravidade. O último termo da equação que descreve a velocidade de propagação nas coordenadas espectrais (frequência e direção), é referente aos efeitos de refração que a onda sofre ao longo da sua propagação.

A interação entre correntes e ondas são baseadas na transferência de energia entre o fluxo e a onda, consequentemente, uma afeta a outra e vice-versa. No modelo XBEACH este fenómeno faz a correção no número de ondas, sendo que este é descrito espacialmente na direção perpendicular (k_x) e paralela (k_y) à costa. E o número de ondas é descrito como:

$$\frac{dk_x}{dt} + \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \quad (41)$$

$$\frac{dk_y}{dt} + \frac{\partial w}{\partial y} = 0 \quad (42)$$

e o número de ondas é dado por:

$$k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad (43)$$

A frequência angular é calculada por:

$$w = \sigma + k_x u^L + k_y v^L \quad (44)$$

onde u^L e v^L são as velocidades médias para as direções perpendiculares e paralelas à costa. A velocidade de propagação da onda que é afetada pela tensão de radiação é escrita como:

$$C_x(x, y, t, \theta) = C_g \cos(\theta) + u^L \quad (45)$$

$$C_y(x, y, t, \theta) = C_g \sin(\theta) + v^L \quad (46)$$

A velocidade de onda na dimensão direcional que é afetada pela tensão radial é descrita adicionando os dois termos de refração de correntes:

$$c_\theta(x, y, t, \theta) = \frac{\sigma}{\sin h(2kh)} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \sin \theta - \frac{\partial h}{\partial y} \cos \theta \right) + \cos \theta \left(\sin \theta \frac{\partial u}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \sin \theta \left(\sin \theta \frac{\partial v}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (47)$$

Como apresentado anteriormente, o modelo divide-se em três termos de dissipação de energia das ondas: rebentação, pelo atrito do fundo e vegetação. A rebentação de ondas possui cinco fórmulas distintas para serem aplicadas, sendo que duas delas são aplicadas para ondas estacionárias e três para movimentos não estacionários. Os métodos mais utilizados são referentes aos artigos de Roelvink (1993) e (Daly et al., 2011). Em relação ao método de Roelvink (1993), considera que há rebentação de ondas através da relação entre a altura máxima e a raiz quadrada média da altura de onda, distinguindo-se apenas por considerarem a profundidade como um parâmetro que afeta a rebentação de ondas. Já no método de (Daly et al., 2011), a rebentação de ondas é restrita à relação entre a altura máxima e o parâmetro de gamma, o que favorece a rebentação de ondas em praias refletivas. As equações que determinam estes métodos estão descritas abaixo:

$$\overline{Dw} = 2 \frac{a}{T_{rep}} Q_b Ew \frac{H_{rms}}{h} \quad (48)$$

$$Q_b = 1 - e \left(- \left(\frac{H_{Rms}}{H_{max}} \right)^n \right) \quad (49)$$

$$H_{Rms} = \sqrt{\frac{8Ew}{pg}} \quad (50)$$

$$H_{max} = y(h + \delta H_{Rms}) \quad (51)$$

$$Ew(x, y, t) = \int_0^{2\pi} s_w(x, y, t, \theta) d\theta \quad (52)$$

Nestas equações, procura-se fazer uma abordagem referente a dissipação média das ondas, em relação a energia total do espectro de ondas Ew , fração de rebentação de ondas Q_b e o período representativo do espectro T_{rep} e a relação entre a raiz quadrada da altura média da onda H_{Rms} com a profundidade. Quando a altura de onda máxima é muito próxima da altura média significa

que, parte da energia de onda foi dissipada pelo processo de rebentação e convertida em outro processo.

A dissipação de energia por atrito do fundo, afeta as velocidades das ondas, superfícies de elevação e a velocidade média das correntes. No modelo numérico o cálculo deste parâmetro ocorre separadamente sobre a ação de ondas curtas, sendo descrito pela equação abaixo:

$$D_f = \frac{2}{3\pi} p_{fw} \left(\frac{\pi H_{Rms}}{T_{m01} \sinh kh} \right)^3 \quad (53)$$

onde f_w é o coeficiente de atrito do fundo de ondas curtas e T_{m01} é o período de espectro das ondas. Para o caso do cálculo da dissipação média, substitui-se T_{m01} pelo período de pico T_p .

A tensão radial é a responsável pela formação das correntes através da ação das ondas sobre a costa. O modelo descreve-as como:

$$s_{xx,w}(x, y, t) = \int \left(\frac{c_g}{c} (1 + \cos^2 \theta) - \frac{1}{2} \right) S_w d\theta \quad (54)$$

$$s_{yy,w}(x, y, t) = \int \left(\frac{c_g}{c} (1 + \sin^2 \theta) - \frac{1}{2} \right) S_w d\theta \quad (55)$$

$$s_{xy,w}(x, y, t) = s_{yx,w}(x, y, t) = \int \frac{c_g}{c} \sin \theta \cos \theta S_w d\theta \quad (56)$$

Relativamente ao atrito do fundo (T_b) é associado às correntes médias com as ondas longas, sendo calculado por:

$$T_{bx}^E = c_f \rho u_e \sqrt{(1,16 u_{rms})^2 + (u_E + v_E)^2} \quad (57)$$

$$T_{by}^E = c_f \rho u_e \sqrt{(1,16 u_{rms})^2 + (u_E + v_E)^2} \quad (58)$$

Para se calcular o coeficiente de atrito escolheu-se utilizar a formula de Chezy:

$$c_f = \frac{g}{c^2} \quad (59)$$

O cálculo de transporte de sedimento é baseado na fração granulométrica dominante (D_{50}) e na concentração de equilíbrio (C_{eq}). No caso do modelo XBEACH há duas opções de transporte de sedimentos, ambas distinguem o transporte de material em suspensão e o material de fundo arenoso. A primeira solução é a de Soulsby-Van Rijn, e a segunda, é a de Van Thiel-VanRijn.

Primeiramente, a equação da concentração de equilíbrio de fundo ($C_{eq,f}$) e de suspensão ($C_{eq,s}$) é dada por:

$$C_{eq,f} = \frac{A_{sf}}{h} \left(\sqrt{v_{mag}^2 + 0,64u_{rms,2}^2} - U_{cr} \right)^{1.5} \quad (60)$$

$$C_{eq,s} = \frac{A_{ss}}{h} \left(\sqrt{v_{mag}^2 + 0,64u_{rms,2}^2} - U_{cr} \right)^{2.4} \quad (61)$$

E os coeficientes (A_s) são calculados de acordo com a granulometria onde:

$$A_{sf} = 0.015h \frac{\left(\frac{D_{50}}{h}\right)^{1,2}}{(\Delta g D_{50})^{0,75}}; A_{ss} = 0.012D_{50} \frac{(D_*^{-0,6})}{(\Delta g D_{50})^{1,2}} \quad (62)$$

A velocidade crítica de transporte é calculada como a soma entre a velocidade crítica das ondas (U_{crw}) e das correntes (U_{crc}):

$$U_{Cr} = \beta U_{crc} + (1 - \beta) U_{crw} \quad (63)$$

onde:

$$B = \frac{v_{may}}{v_{mag} + u_{rms}} \quad (64)$$

O modelo através do processo de vegetação, permite simular a dissipação de ondas curtas, das ondas longas e do escoamento devido à vegetação. É possível especificar um número indeterminado de espécies, indicando a altura, o coeficiente de arrastamento, o diâmetro e a densidade de cada seção da mesma. Este processo conduz a uma maior dissipação e por isso influi na rebentação da onda e/ou na velocidade de escoamento.

Alguns parâmetros e fórmulas que podem influenciar os resultados, principalmente, os descritos anteriormente, para complementar as formulações que caracterizam estes processos costeiros. Nos projetos de engenharia é de grande utilidade a aplicação deste tipo de modelos e muitas das vezes inviável a medição de alguns parâmetros. Para ultrapassar esta dificuldade, os autores do modelo recomendam a utilização por omissão (conjunto de parâmetros definidos por valores padrão), que são apresentados na Tabela 2.5. Os autores mencionam ainda, algumas aplicações conhecidas onde descrevem os parâmetros mais sensíveis e por isso que têm maior influência nos resultados.

Tabela 2.5 - Parâmetros do XBEACH importantes para a presente dissertação e respetiva descrição, unidades, intervalo recomendado e valor padrão (adaptado Heleno,2016)

Condição	Parâmetro	Descrição	Unidades	Intervalo recomendado	Valor padrão
Condições de onda	Break	Opção formulação rebentação		1-5	3
	Wci	Opção interação onda corrente		0-1	0
	Gamma	Parâmetro de rebentação a formulação ou Roelvink		0.4-0.9	0.55
	Gammax	Razão máxima altura de onda/profundidade (Hrms/Hmax)		0.4-5	2
	Alfa	Coefficiente de dissipação de onda		0.5-2	1
	Delta	Fração da altura de onda a adicionar à profundidade		0-1	0
	N	Potencia no modelo de dissipação de Roelvink		5-20	10
	Lws	Opção ondas infra gravíticas		0-1	1
Condições de escoamento	C	Coefficiente de Chézy	$m^{1/2}s^{-1}$		55
	Nuh	Viscosidade horizontal	m^2s^{-1}	0-1	0.1
	Nuhfac	Coefficiente de calibração da viscosidade horizontal no modelo de Battjes		0-1	1
	Eps	Profundidade mínima para inundação	m	0.001-0.1	0.005
	Hmin	Profundidade mínima para o calculo da velocidade da corrente de retorno	m	0.001-1	0.2
Condições de transporte morfodinâmica	Hswitch	Profundidade mínima (na interface de wetslp para dryslp)	m	0.01-1	0.1
	Wetslp	Declive crítico de avalanche submersa		0.1-1	0.3

	Dryslp	Declive critico da avalanche emersa		0.1-2	1
	Morfac	Factor morfológico		0-1000	1
	Facsl	Fator declive na formulação do transporte de sedimentos		0-1.6	1.6
	Turb	Opção cálculo concentração sedimentar de equilíbrio		1-3	3
	facua	Opção de assimetria de ondas curtas		0-1	0.1
Condições numéricas	CFL	Máximo número de Courant para estimar o passo de cálculo automaticamente		0.1-0.9	0.7
Condições de fronteira	Order	Geração de ondas		1-2	2
	Front	Condições fronteira lado mar		1-6	2
	Back	Condições fronteira lado terra		1-4	3
	Left	Condições fronteira lado esquerda		1-4	1
	Right	Condições fronteira lado direita		1-4	1
Condições dos sedimentos	D50	Dimensão do grão	m	0.0001-0.0008	0.0002
	Ngd	Número de tipo de sedimentos		1-20	1
	Rhos	Densidade do sedimento	Kgm ³	2400-2800	2650
	Por	Porosidade		0.3-0.5	0.4

2.2.3.1 Dados de entrada (input's)

Os dados de entrada do modelo XBEACH podem ser consultados no manual (Roelvink al., 2015). Neste subcapítulo apenas se referem os inputs's relevantes para esta dissertação, nomeadamente:

- ❖ Grelha, quer a que especifica a direção de propagação das ondas que entram na região em estudo, quer a que define a zona em estudo (domínio);
- ❖ Características da agitação marítima;
- ❖ Nível de maré;
- ❖ Morfologia do perfil;
- ❖ Batimetria;
- ❖ Tempo de simulação.

A grelha definidora da região em estudo é retangular e caracteriza-se pelo número de espaçamentos (n_x e n_y), entre os pontos do eixo das abcissas (x) e das coordenadas (y), que são distribuídos com espaçamento variáveis, a partir de um ponto de origem (x_{ori} , y_{ori}) e se aplicável, podendo aqueles eixos serem rodados de um determinado ângulo (α) (Figura 2.9).

A introdução destes dados no modelo pode ser simplificada, se os espaçamentos que compõem o domínio forem iguais, ou se for utilizada uma grelha Delf3D que indica, num único ficheiro, os pontos constituintes do mesmo. Quanto menor o espaçamento entre os pontos mais detalhada será a simulação.

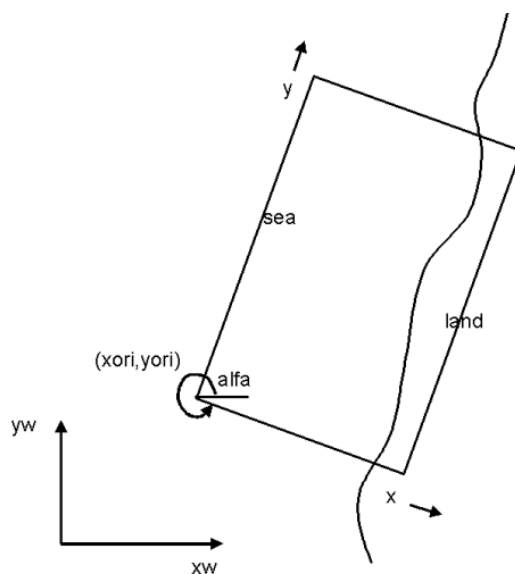


Figura 2.9 - Grelha definição do domínio no XBEACH (den Bieman, 2013).

Em relação à grelha da propagação das ondas, é definida por um intervalo de ângulos (θ_{\min} e θ_{\max}). Esses ângulos definem o intervalo que as direções das ondas podem tomar ($d\theta$), como se pode observar na Figura 2.10.

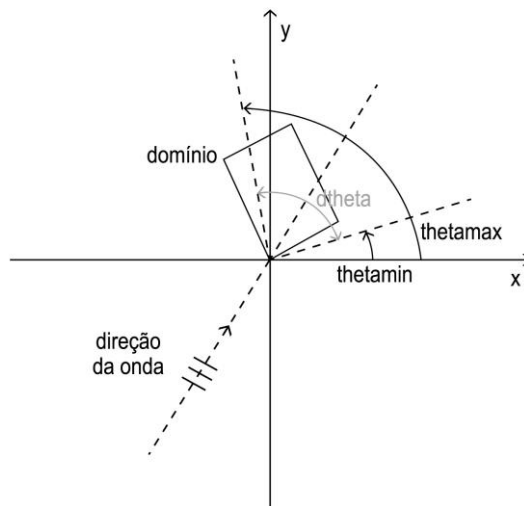


Figura 2.10 - Grelha definição das direções das ondas no XBEACH (adaptado de Bieman, 2013)

A batimetria é fornecida por um ficheiro externo (bed.dep), acompanhada por outros (x.grd e y.grd) que identificam as coordenadas do ponto a que profundidade corresponde.

As condições de fronteira, para além dos parâmetros mencionados anteriormente, também são definidas pelo tipo de caracterização da agitação marítima. A caracterização da agitação marítima pode ser espectral, não espectral e especial.

A variação do nível de maré também influencia a definição de condições de fronteira, a par do tipo de caracterização marítima. Esta variação, pode ser em uma ou duas ou até mesmo nas quatro fronteiras do domínio. Ao longo do tempo existe a opção de definir o nível de maré nas fronteiras.

Para melhorar a simulação do modelo, poderá ser fornecido um ficheiro que caracteriza a morfologia do domínio, sendo que esse ficheiro contém a espessura da camada que é possível ser erodida. Assim, por exemplo onde o domínio é definido por estruturas de proteção, a espessura da camada erodível torna-se nula.

A simulação baseia-se em determinadas condições de agitação marítimas, assim o tempo da simulação depende da duração da tempestade selecionada.

A influência do vento foi considerada desprezável, uma vez que devido ao domínio não ser de grande extensão, não abrangendo zonas ao largo, onde são originadas as ondas.

2.2.3.2 Resultados do modulo (output's)

Os resultados que o utilizador pretende com a simulação denominam-se de output's, sendo que podem se caracterizar de duas formas, como pontuais e globais, quer médios quer instantâneos.

É importante definir os outputs's que se pretende da simulação, no caso de ser instantâneo é recomendado o intervalo de tempo entre cada registo dos resultados, bem como instantes em que se pretende iniciar o registo. Na tabela seguinte, indicam-se alguns resultados que podemos encontrar no modelo XBEACH, sendo essencial indicar os resultados pretendidos, através da palavra-chave (keyword), que identifica cada um deles.

Tabela 2.6 - Exemplos de resultados do modelo XBEACH (adaptado Heleno 2016)

		Output's		
		keyword	Descrição	Unidades
Tipo	Globais instantâneos	Breaking	Indicador se a célula tem ondas não hidrostáticas rebentadas	
		Zb	Nível de fundo	m
		Zs	Nível de água	m
		H	Altura média quadrática (Hrms) das ondas	m
		E	Energia da onda	Nm/m ²
		Runup	Espraio de ondas curtas	m
		XHrunup	Local em que altura de onda curta se torna espraio	m
		Iwl	Localização da linha de água (incluindo espraçamento)	
	Pontuais instantâneos	Zs	Nível de água	m
		Vg	Velocidade GLM (componente x)	m/s
		Ug	Velocidade GLM (componente y)	m/s
		V	Velocidade Eulerian (componente x)	m/s
		S	Velocidade Eulerian (componente y)	m/s
		urms	Velocidade orbital	m/s

Embora o modelo determine vários tipos de resultados (consultar no manual, Roelvink et al., 2015), para esta dissertação apenas nos interessa 8 output's globais e 6 pontuais, para 2 pontos distintos (sendo um deles uma sonda). A tabela anterior faz um resumo desses mesmos resultados.

O modelo produz essencialmente 4 ficheiros:

- ❖ (Oboutput.nc, resultados da simulação);
- ❖ (XBlog.txt, onde registou os dados utilizados e processos físicos);
- ❖ (XBerror.txt, ficheiro que contém os erros, se houverem);
- ❖ (XBwarning.txt, ficheiro que possui os dados que foram admitidos fora do intervalo recomendado e por isso, de algum risco para a simulação fiável).

No diagrama seguinte, Figura 2.11 apresenta-se de forma sintetizada o funcionamento do modelo XBEACH.

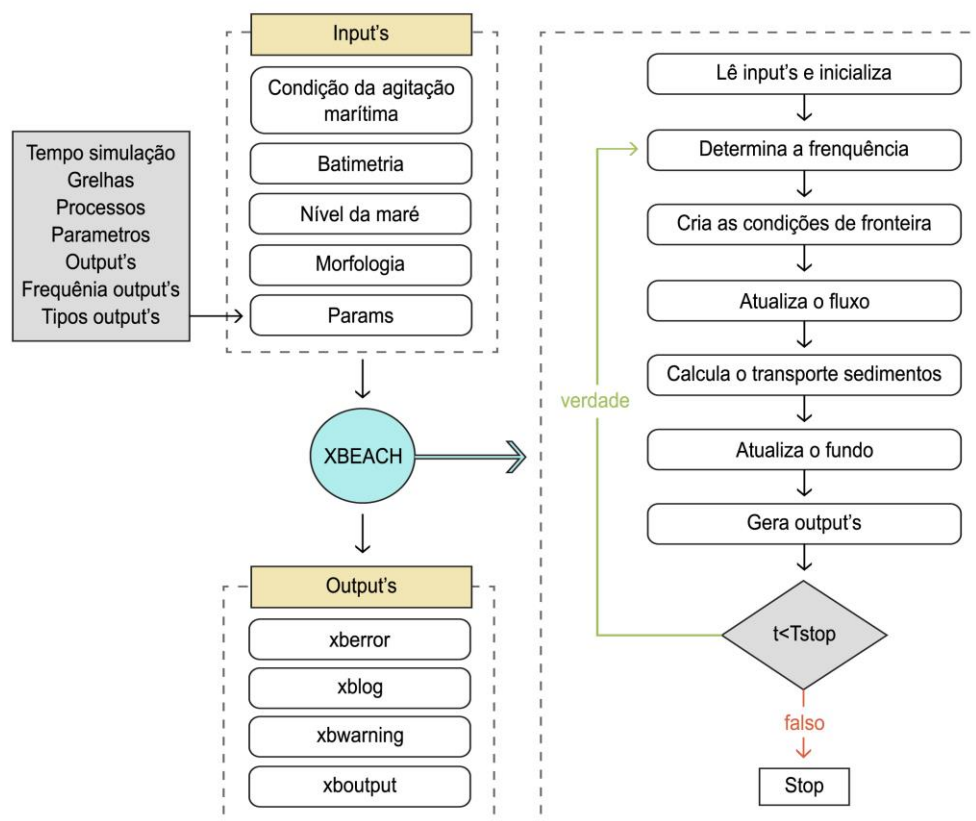


Figura 2.11 - Diagrama de funcionamento do XBEACH (adaptado de Heleno, 2016)

2.2.3.3 Cálculo do Nível Máximo de Inundação (NMI)

Existe uma ferramenta no modelo que nos permite analisar o runup (*runup gauge output*) e assim determinar os níveis máximos de inundação.

A variação da linha de água contém uma série temporal que inclui o nível de maré e o espraio, através de um ponto que acompanha a linha de água. O utilizador do modelo estabelece o ponto e este é colocado na fiada da grelha de cálculo, na direção x mais próximo.

Esta metodologia é essencialmente aplicada a secções constituídas por dunas e que não tenham qualquer tipo de proteção costeira.

2.2.3.4 Estudo da metodologia do galgamento de estruturas

Não existe uma ferramenta específica para o cálculo do caudal médio galgado, através do modelo XBEACH que poderia ser solicitado nos outputs's. Para contornarmos esta situação recorre-se à série temporal do nível de água (zs) e da sua velocidade, na componente horizontal, (u), registada num ponto situado no coroamento da estrutura, para determinar o caudal galgado (q), equação (65). Seguidamente, subtraído o valor da cota de coroamento ($Z_{\text{máx}}$), obtém-se a diferença entre a cota da superfície da água e a do coroamento (Z_d).

$$q_i = Z d_i \cdot u_i \cdot 1ml \quad (65)$$

em que i representa o instante da série temporal.

A metodologia apresentada, Figura 2.11, é aplicada às secções que contenham algum tipo de proteção costeira.

2.2.3.5 Validação

O modelo XBEACH tem vindo a ser aplicado a vários casos de estudo com vista à análise do desempenho do mesmo.

O projeto MICORE (Van Dongeren et al.,2009) financiado pela União Europeia, teve como um dos objetivos, contribuir para o desenvolvimento de um mapeamento probabilístico comum do impacto morfológico das tempestades marítimas e para a produção de sistemas de alerta precoce e informação para apoiar a redução de desastres a longo prazo. O primeiro passo foi realizar comparação de resultados deste modelo com os modelos que são/eram utilizados [como Litprof (Broker et al.1991; Elfrink et al 2000; DHI,2009), o Sbeach (Larson e Kraus, 1989; Larson et al.,1990; Larson et al.,2004), o SMC (U.Cantabria, 2009), o Durosta (Steetzel, 1993) e o IO-BAS (Trifonova, 2007)] em diversas zonas costeiras [(Lido di Dante-Lido di Classe em Ravenna

(Itália), a Praia de Faro (Portugal), as praias urbanas da Baía de Cadiz (Espanha), Lido de Sète (França), o estuário de Dee (Reino Unido), a praia de Egmond (Holanda), a praia de Mariakerke (Bélgica) a restinga de Dzwnow (Polónia) e a praia de KAmchia-Shkorpilovtsi (Bulgária)]. Estes dados de campo foram recolhidos em outubro de 2008 e são compostos por nível de maré, altura de onda e a morfologia pré e pós tempestade. A Bélgica, Holanda e Reino Unido por não apresentarem grandes tempestades foram utilizados dados históricos para esse locais.

Vousdoukas et al. (2011) estudou as ilhas barreiras da Ria Formosa em Faro, numa zona que nomeadamente a média do período de pico é de 8.2 s (Costa et al. 2011), a média anual de altura significativa de 0.92 e o pico de maré é de 3.5 m. Durante o estudo e aproximadamente 24 horas, a praia foi exposta a condições de tempestade e em marés vivas com a altura de onda significativa a atingir os 5 m e o período de pico de 8.5 s. O modelo foi executado para cinco perfis espaçado por 500 metros entre eles. Ao longo da tempestade observou-se galgamentos ao longo de várias secções e com grandes impactos ao nível de bens materiais e das infraestruturas presentes no local. Os resultados mostram que o modelo XBEACH tem capacidade de previsão do perfil costeiro, embora às vezes a erosão e a deposição em torno da linha da água e na face inferior da praia, respetivamente sejam sobrestimadas.

Oliveira (2011) em Portugal teve como objetivo avaliar o desempenho do modelo XBEACH, com elevado potencial para erosão de praias e dunas, relativamente a um dos modelos mais eficazes nesta área, vastamente aplicado a nível mundial em projetos de investigação e consultoria, o modelo Liprof (DHI, 2008) do sistema de modelação Litpack. A autora utilizou o espectro de Pierson Moskowitz de onda incidente com uma altura significativa de 1.5 m, período de pico de 4.9 s e duração de 6 horas, isto tudo para um perfil do tipo barra-fossa. Por fim, a autora conclui que o modelo XEACH apresenta melhor desempenho que o Litprof.

Mais tarde e com o objetivo de avaliar a variação temporal da resposta de um perfil de praia à ação erosiva de uma tempestade marítima, Oliveira (2012) aplicou três modelos matemáticos de morfodinâmica: XBEACH (Roelvink, 2009), Liprof (DHI, 2008) e Duner (Oliveira 2012). A autora conclui que o modelo XBEACH foi aquele que apresentou o melhor desempenho.

Oliveira (2013), para as mesmas condições de agitação marítima aplicou e comparou mais três modelos matemáticos numéricos de morfodinâmica entre eles, modelo XBEACH (Roelvink, 2009; 2010), o modelo Delft3D (Deltares, 2011) e o modelo Duner (Oliveira, 2012). A autora teve como objetivo melhor a avaliação e previsão da vulnerabilidade/resiliência de sistema praia-duna. Da mesma forma que aconteceu em (2012) o modelo XBEACH foi o que apresentou melhor similaridade entre os resultados numéricos e experimentais e aquele que demonstrou melhor desempenho.

Galien e Guza (2015) avaliaram as previsões do modelo XBEACH comparando com resultados de ocorrências registradas, neste caso em janeiro de 2014 na Imperial Beach., utilizando o SWAN, os dados (altura significativa, período de pico e direção de onda) e recuperando dados da boia ondógrafo a 25 km da costa. Depois da simulação feita os autores concluíram que o modelo simulou um espraçamento máximo semelhante ao registrado, que o volume galgado é extremamente sensível ao crescimento do espraçamento, que o espraçamento máximo e o volume galgado foram fortemente influenciados pela profundidade onde o modelo iniciou a simulação.

Mehvar et al. (2015) ensaiou a capacidade do modelo no modo 1D com abordagem não hidrostática, para estimar o espraçamento em diques costeiros. O autor utilizou o modelo para simular 27 condições de agitação marítima, 21 ensaios em modelos físicos e 6 em medições de campo. O perfil utilizado faz parte de uma praia em Petten, na Holanda e utilizaram variações de declive entre 1:100 e 1:3 que constituíam o dique. Os valores das condições de agitação marítima para a altura de onda significativa e período de pico variavam entre 3.10 m e 4.80 m e 8.70 s e 16.20 s, respetivamente. Em relação às medições de campo e em relação aos resultados relativos dos ensaios físicos os valores são de 2.00 e 6.20 m e 6.80 e 18.50 m. O autor concluiu que existe uma boa concordância entre os valores dos ensaio físico e os medidos em campo, na estimativa do nível de espraçamento em um perfil esquematizado.

2.3 Avaliação de Risco

Para o desenvolvimento da metodologia de avaliação de risco de inundações de áreas costeiras e após a determinação do parâmetro permite-nos estabelecer uma ligação com o efetivo risco de inundação a que as pessoas e as estruturas estão sujeitas na Costa da Caparica. Nesta dissertação segue o trabalho desenvolvido por Raposeiro e Ferreira (2011), definido nos seguintes passos:

- ❖ Divisão da área de estudo em subáreas com características semelhantes no que concerne ao tipo de defesa costeira;
- ❖ Determinação dos limites das cotas de inundação máxima para cada área em estudo;
- ❖ Determinação da probabilidade de ocorrência de níveis de inundação que excedam os limites pré-determinados para cada área de estudo;
- ❖ Definição dos fatores qualitativos associados às consequências ao nível de danos na propriedade em cada subárea, causados pela excedência dos limites de inundação preestabelecidos para a zona em questão;
- ❖ Combinação dos passos acima descritos para a avaliação do risco de inundação.

Tabela 2.7 - Tabela de Probabilidades de Ocorrências (Raposeiro et al., 2010, Raposeiro e Ferreira, 2011)

Descrição	Probabilidade de (Ocorrência)	Grau
Improvável	0-1 %	1
Raro	1-10 %	2
Ocasional	10-25 %	3
Provável	25-50 %	4
Frequente	> 50 %	5

Nas tabelas seguintes estão definidos os critérios pré-estabelecidos, para a obtenção das probabilidades de ocorrência de inundação (Tabela 2.7). Estes critérios estabelecidos por Pullen et al. 2007, que indicam os danos que podem ocorrer nas estruturas marítimas (Tabela 2.8), pessoas (Tabela 2.9) e bens, (Tabela 2.10) para os caudais médios galgados.

Tabela 2.8 - Valores do caudal médio de galgamento admissível para estruturas marítimas (Neves, 2013; adaptado de Pullen et al., 2007)

Condições e tipo de danos		Caudal médio q (l/s/m)
Estrutura de defesa com talude no tardo	Sem danos se o coroamento e o tardo estiverem bem protegidos	50-200
	Sem danos no coroamento e no tardo de um dique de argila coberto por relva	1-10
	Sem danos no coroamento e no tardo mesmo se não estiverem protegidos.	0.1
Defesas frontais	Danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atrás da defesa frontal.	200
	Danos em zonas de circulação relvadas ou levemente protegidas.	50

Tabela 2.9 - Valores do caudal médio de galgamento admissível para pessoas (Neves, 2013; adaptado de Pullen et al., 2007).

Condições e tipo de danos	Caudal médio q (l/s/m)
Pessoal treinado, com equipamento e calçado adequado, com perceção de que se pode molhar. O galgamento gera escoamentos de pouca altura, sem jatos de água a cair, perigo reduzido de queda para o mar.	1-10
Pessoas cientes, com visão clara do mar, que não ficam facilmente perturbadas ou assustadas, capazes de tolerar o facto de ficarem molhadas, que se deslocam numa zona larga.	0.1
Pessoas totalmente desprevenidas, que não conseguem observar a agitação incidente, que podem facilmente ficar assustadas ou perturbadas, com vestuário inadequado para se molharem ou que se desloquem numa zona estreita ou propícia a tropeções e quedas.	0.03

Tabela 2.10 - Valores de caudal médio galgado admissível para as diversas alternativas existentes em zonas abrigadas pela estrutura (Neves, 2013; adaptado de Pullen et al., 2007).

Condições e tipo de danos	Caudal médio q (l/s/m)
Danos significativos ou afundamento de grandes barcos	50
Afundamento de barcos pequenos localizados a 5-10m da estrutura Danos em grandes barcos	10
Danos em edifícios	1
Danos em equipamentos localizados a 5 – 10m da estrutura	0.4

A seguinte tabela apresenta-nos uma descrição das consequências que podem ocorrer através de um grau de inundação. As consequências fundamentam-se nas características mais significativas e sensíveis das zonas costeiras. A identificação dos valores naturais mais importantes e das áreas de elevada sensibilidade socio-económico-cultural, considera uma série de critérios: os habitats com reconhecido valor ecológico, o uso do solo, a densidade de construção à localização dos edifícios e de outros valores únicos, relativamente ao elemento causador do risco. Os valores dos

graus de consequência foram determinados de modo a possibilitar-nos, a correspondência com as elevadas probabilidades de ocorrências, mas com um baixo grau de consequência, assim como o baixo grau de probabilidade de ocorrência e elevado grau de consequência. As diferenças entre elas são significativas, mas devem ter uma atenção de igual forma e não desprezando pelo seu baixo grau de consequência ou ocorrência que possam apresentar, mas sim pela sua avaliação no geral.

Tabela 2.11 - Tabela de consequências da inundação (Raposeiro e Ferreira, 2011)

Descrição	Consequências (Guia de Orientação)	Grau
Insignificantes	Locais com características geotécnicas relativamente estáveis; praias de areia natural, locais ocupados por habitats de reduzido valor ecológico; caminhos locais ou valas de drenagem.	1
Reduzidas	Locais com solos de características geotécnicas fracas ou possuindo alguma vegetação do tipo arbustivo ou outro que lhe confira alguma estabilidade; áreas ocupadas por habitats em condições fitossanitárias débeis.	2
Sérias	Locais com infraestruturas de proteção costeira; locais com estruturas para atividades económicas relevantes; locais com características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis e de reduzida resistência à desagregação; áreas ocupadas por habitats com algum interesse ecológico.	5
Muito sérias	Locais com ocupação humana permanente (zonas urbanas planeadas); locais com características geotécnicas muitíssimo fracas, muito instáveis e de muito reduzida resistência á desagregação, sem vegetação estabilizadora; locais com elementos naturais de grande valor cuja perda seria difícil de compensar.	10
Catastróficas	Locais com ocupação humana permanente; locais absolutamente únicos e de enorme valor e cuja perda seria irreparável; sistema praia - duna.	25

O risco de inundação costeira segundo Raposeiro et al. (2011), é calculado através do produto de probabilidades de um evento adverso pelo valor atribuído as suas consequências:

$$\text{Grau de risco} = \text{Grau de probabilidade de ocorrência} * \text{Grau de consequências}$$

Consequentemente, podemos elaborar uma tabela que faz a relação entre a probabilidade de ocorrência e o grau de consequência.

Tabela 2.12 - Tabela de risco de inundação costeira (Raposeiro e Ferreira, 2011)

Grau de Risco		Consequências				
		1	2	5	10	25
Probabilidade de Ocorrência	1	1	2	5	10	25
	2	2	4	10	20	50
	3	3	6	15	30	75
	4	4	8	20	40	100
	5	5	10	25	50	125

Na Tabela 2.13 é feita uma avaliação da aceitabilidade do grau de risco, classificado em insignificante, reduzido, indesejável e inaceitável relacionando com as medidas que devem ser executadas.

Tabela 2.13 - Controlo do risco de inundação costeira (Raposeiro e Ferreira, 2011).

Grau	Descrição	Controlo de Risco (Guia de Orientação)
1-3	Insignificante	Risco desprezável; não é preciso levar a cabo medidas de controlo de risco.
4-10	Reduzido	Risco que pode ser considerado aceitável/tolerável caso se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo, possíveis danos materiais de pequena dimensão.
15-30	Indesejável	Risco que deve ser evitado se for razoável em termos práticos; requer uma investigação detalhada e análise de custo-benefício; é essencial a monitorização.
40-125	Inaceitável	Risco intolerável; tem que se proceder ao controlo do risco (e.g. eliminar a origem dos riscos, alterar a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, transferir o risco, etc.).

Seguindo a metodologia aplicada por Raposeiro et al. (2010) em Vale do Lobo relacionado com estas tabelas anterior mencionadas, é possível criar mapas de risco para a área de estudo com a ajuda de um software de informação geográfica (ArcGIS). Para o desenvolvimento dos mapas das

zonas inundáveis é necessário identificar as cotas de inundação. De seguida e intersectando as áreas abaixo do limite estabelecido pelos mapas de risco encontramos o grau de risco de inundação para cada área.

Em termos de conclusão e em relação às metodologias impostas, são propostas estratégias, estáticas ou dinâmicas, de adaptação dos locais de risco de inundação, que passam pela proteção, adaptação ou remoção do local, consoante a importância que este tem e o grau de risco que a sua frequência/utilização pode representar para a população e estruturas aderentes, Tabela 2.14.

Tabela 2.14 - Estratégias de atuação nos locais em risco (Raposeiro e Ferreira, 2011)

	Proteção (continuar a utilizar as áreas vulneráveis)	Adaptação (continuar a viver em áreas vulneráveis, ajustando o estilo de vida e o trabalho)	Remoção (Abandono das zonas vulneráveis)
Estático	Estruturas	Construção compacta	Relocação de edifícios ameaçados
	Esporões	Adaptação do sistema de drenagem	
	Quebra-mares	Abrigos de emergência para inundações	
	Barreiras para a intrusão salina		
Dinâmico	Fornecimento artificial de areia	Novas regras de construção	Restrições ao uso do solo
	Construção de dunas	Sistemas de alerta e evacuação	Delimitação de zonas de recuo
	Restauro ou criação de zonas húmidas	Seguro contra perigos com base no grau de risco	

Capítulo 3 - Casos de estudo: Praias da Costa da Caparica

Neste capítulo, descreve-se o caso de estudo começando pela caracterização do local, passando pela evolução e a dinâmica da zona costeira e terminando na descrição das praias em estudo.

3.1 Caraterização do local

3.1.1 Enquadramento geográfico

A Costa da Caparica é uma cidade portuguesa do concelho de Almada, sendo que foi elevada a cidade em 9 de dezembro de 2004. É sede de freguesia e integra as localidades de São João, Santo António, Terras da Costa e Fonte da Telha.

Localizada na orla costeira, a sede de freguesia da Costa da Caparica tem uma área aproximada de 10 km² entre o mar e a escarpa. As suas praias estendem-se por uma zona aproximadamente de 30 km, sendo a maior do país entre a margem esquerda do Tejo e a Lagoa de Albufeira.

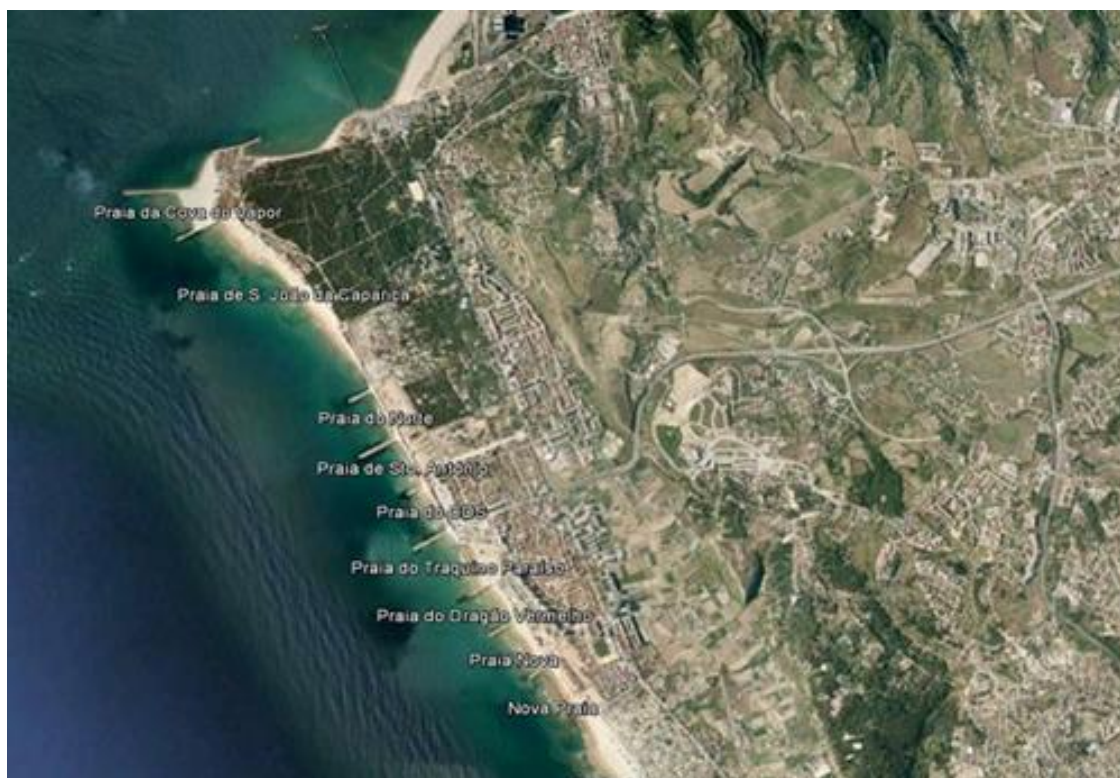


Figura 3.1 - Localização da zona de estudo (adaptado do Google Earth)

3.1.2 Enquadramento Socioeconómico

3.1.2.1 Atividades económicas

Em relação às atividades económicas a Costa da Caparica vive muito do turismo, da pesca e da agricultura. Devido à sua localização no litoral, toda a frente de praia do Concelho de Almada é a que proporciona maior oferta turística. É uma cidade onde a pesca tradicional se faz durante todo o ano, com destaque para a Arte-Xávega. Trata-se de uma técnica de pesca tradicional, que consiste na utilização de uma rede de cerco envolvente que é lançada no mar e depois puxada para terra. É praticada de março a novembro, atrai muitos turistas na espera da célebre pescaria. A cidade da Costa da Caparica não vive só do mar e as suas terras constituem uma faixa de terreno plana e de cariz agrícola, localizada entre a Arriba fóssil, a cidade e o cordão dunar, sendo que os maiores produtores da região, levam os produtos colhidos com destino ao MARL (Mercado Abastecedor Região de Lisboa).

Nestes últimos anos e com maior destaque a Costa da Caparica tem vindo a afirmar-se em relação aos desportos do mar. O grande destaque vai para o surf, que tem sido um grande contributo para o desenvolvimento da economia da cidade, destacando-se o circuito nacional de surf que voltou à Costa da Caparica passado muitos anos e o Festival Caparica Surf Fest.

3.1.2.2 Distribuição populacional

A costa da Caparica é sede de freguesia com 10.18 km² de área e 13418 habitantes (INE,2011), sendo a sua densidade populacional de 13418.1 hab/km², Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - População da freguesia da Costa da Caparica. Distribuição da População por Grupos Etários (INE, 2011)

População da freguesia da Costa da Caparica							
Ano	1950	1960	1970	1981	1991	2001	2011
Habitantes	2561	2306	2789	9880	6913	11708	13418
Distribuição da população por Grupos Etários							
Ano	0-14 anos		15-24 anos		25-64 anos		<65 anos
2001	1684		1769		6497		1758
2011	1846		1307		7646		2619

Na Tabela 3.1 verifica-se que a população da Costa da Caparica tem vindo a aumentar ao longo dos anos, atingindo o seu pico de população em 2011 de acordo com o Instituto Nacional de Estatísticas. Houve um decréscimo de população em 2011 em relação a 2001 da população de 15-24 anos, inclusive, mas um acréscimo dos outros restantes grupos etários, sendo que a maior parte da população se situa entre os 25 e 64 anos inclusive.

3.2 Evolução Dinâmica da Costa

O sector costeiro entre a Cova do Vapor e a Costa da Caparica, localizado na margem sul do estuário inferior do rio Tejo, apresenta uma importância relevante no que respeita ao turismo e à área urbana, em especial durante o Verão. Nesta zona ocorre uma interação dinâmica significativa entre o mar, o rio e a terra. Desde o final do século XIX, este sector sofreu um recuo significativo da linha de costa, em especial da restinga, que se estendia até à zona do farol do Bugio (Figura 3.2). Esta restinga projetava-se no sentido do farol do Bugio até 1929. No entanto entre 1929 e 1957 a restinga apresentou um recuo de cerca de 1.5 km, acompanhado por um assinalável recuo da linha de costa na frente urbana da Costa da Caparica (Figura 3.2). A restinga continuou a migrar no sentido da terra, localizando-se atualmente no interior do Estuário do rio Tejo, na região do terminal da NATO (3 km de recuo total) (Veloso-Gomes et al., 2004 e 2006).



Figura 3.2 - Evolução da linha de costa e área urbana (Veloso-Gomes et al., 2006)

Segundo Barceló (1971), entre 1957 e 1963, a duna recuou 100 m e a cota da crista da duna diminuiu cerca de 6m (Figura 3.2). A frente urbana ficou exposta às ações diretas do mar, em especial durante a ocorrência de tempestades, tendo sido executadas estruturas de defesa para a proteção da zona costeira no geral e da frente urbana em particular. A maioria das obras de defesa na Cova do Vapor foi efetuada essencialmente em dois períodos (1959-1963 e 1968-1971) e na frente urbana da Costa de Caparica entre 1959 e 1971 (obra de defesa aderente com 2.5 km de comprimento e 7 esporões com mais de 180 m de comprimento unitário). A zona costeira manteve-se relativamente estável entre 1972 e 2000, apesar da ocorrência de episódios pontuais de galgamentos, com especial relevância para os ocorridos no Inverno de 1995-1996. Entretanto as estruturas de defesa foram-se degradando de uma forma acentuada. Um novo ciclo de recuo de linha de costa iniciou-se no Inverno de 2000/2001, com a erosão e galgamento da praia de S. João e da duna frontal (Veloso-Gomes et al., 2006). Diversas intervenções de emergência foram levadas a cabo durante os Invernos de 2002/2003 e 2003/2004 e mais recentemente em

2006/2007, na tentativa de minimizar estragos de infraestruturas e equipamentos urbanos. Paralelamente aos problemas de erosão ocorrem elevadas pressões urbanísticas e turística que têm como consequência, o aumento das dificuldades e da complexidade da gestão desta zona costeira. Como se pode verificar a área urbana apresentou um acentuado crescimento no período entre 1972 e 1996. (Veloso-Gomes et al.,2006), Figura 3.3.

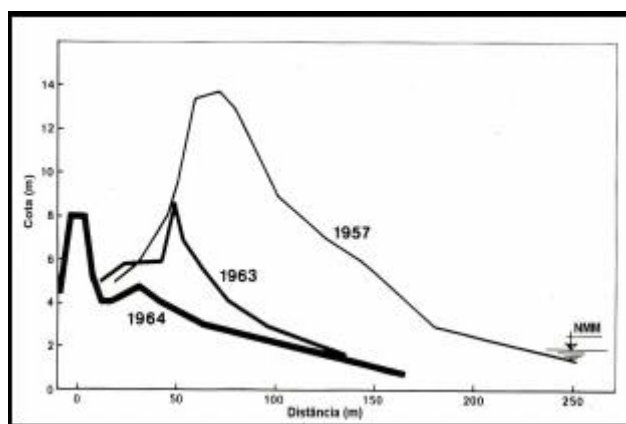


Figura 3.3 - Evolução do perfil transversal entre 1957 e 1964 (Barceló, 1971).

Recentemente em 2014 verificaram-se importantes tempestades que afetaram toda a costa portuguesa severamente, incluindo a Costa da Caparica. Em resultado disso, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) fez várias intervenções nas praias da Costa da Caparica, como reabilitações dos esporões, alimentação artificial das praias e reabilitação da estrutura aderente na praia de São João da Caparica. Foram aplicados 700 m de tubagem e depositados 1 milhão de m³ de areia do canal da barra ao longo de 3.8 km de comprimento.

APA (2014) afirma que parte da areia perdida está a ser transferida para os fundos adjacentes, formando um banco submerso, o qual constitui uma acumulação sedimentar relevante em termos volumétricos e altimétricos e que favorece a dissipação da energia da agitação marítima (fenómeno já observado após as intervenções de 2007, 2008 e 2009). Em termos globais a areia não é perdida dado que se mantém no grande sistema de circulação sedimentar do estuário exterior do Tejo, contribuindo para a estabilidade global do mesmo.

Na sequência de vários acontecimentos relatados por diversos meios de comunicação, estão compilados na Tabela 3.2 principais acontecimentos relativamente às ocorrências e às intervenções na Costa da Caparica entre os anos de 2007 e 2016. A nível de danos causados destaca-se a erosão das praias e do cordão dunar adjacente, os prejuízos em infraestruturas de proteção/defesa costeira, no passeio marginal, nos estacionamento, em equipamentos, apoios de praia, bares e restaurantes.

Tabela 3.2 - Tabela das ocorrências e intervenções registadas na Costa da Caparica entre 2007 e 2016.

	Ocorrências	Intervenções
Janeiro 2007	No início do mês 16 m de cordão dunar destruídos pelas marés cheias e no fim do mês o Bar Búzio foi destruído parcialmente, na praia.	
Fevereiro 2007	Rotura parcial da estrutura de proteção na Praia de S. João da Caparica	
Março 2007	Galgamento com 50 m de extensão na zona frontal ao parque de campismo do C.L.L com rotura da estrutura de proteção	→ Reposição de areias nas praias do Inatel e S. João da Caparica → Reconstrução da estrutura de proteção danificada e desassoreamento da vala de escoamento de água
Julho 2007		Aplicação de 700 m ³ de areia
Janeiro 2008	Ondas a rondar os 7 m destruíram a fachada do bar na Praia do CDS	
Março 2008	Recoo de 15 m da linha da costa	
Verão 2008		Reposição de areia em várias praias
Julho 2009		Reposição de areia em várias praias
Dezembro 2010		Prolongamento da estrutura de proteção costeira cerca de 70 m e reforço dunar
Fevereiro 2011	Ondas a rondar os 10 m roubaram areia da Praia de S. João da Caparica e deixaram os alicerces do Bar Pé Nú à mostra	
Janeiro 2014	→ Galgamentos do cordão dunar e da defesa aderente com inundação da vala no tardoz (Parque de Campismo do CCL)	

	→Galgamento da defesa aderente/paredão localizada do estacionamento tardoz com danos no pavimento do estacionamento e danos nos apoios de praia	
Maio 2014		Reabilitação da estrutura aderente na praia S. João da Caparica
Junho 2014		Alimentação artificial de várias praias
Setembro 2014		Reabilitação do esporão 6 da Costa da Caparica
Fevereiro 2015		→Alimentação e Reabilitação da estrutura aderente na praia de S. João da Caparica → Projeto ReDuna →Reabilitação do esporão 4 da Costa da Caparica

3.3 Descrição das Praias em Estudo

As praias em estudo têm uma extensão aproximadamente de 3.4 km, Figura 3.4 entre a Praia de São João da Caparica e a Praia Nova. Estas praias estão protegidas por oito esporões que separam cada uma das praias exceto, a praia de São João de Caparica. Nestes últimos anos, esta praia tem sofrido muitas alterações, quer a nível de alimentação artificial da praia, quer a nível de reabilitação da estrutura aderente, quer a nível do Projeto ReDuna (Recuperação e Restauração Ecológica do Sistema Dunar de S. João da Caparica).

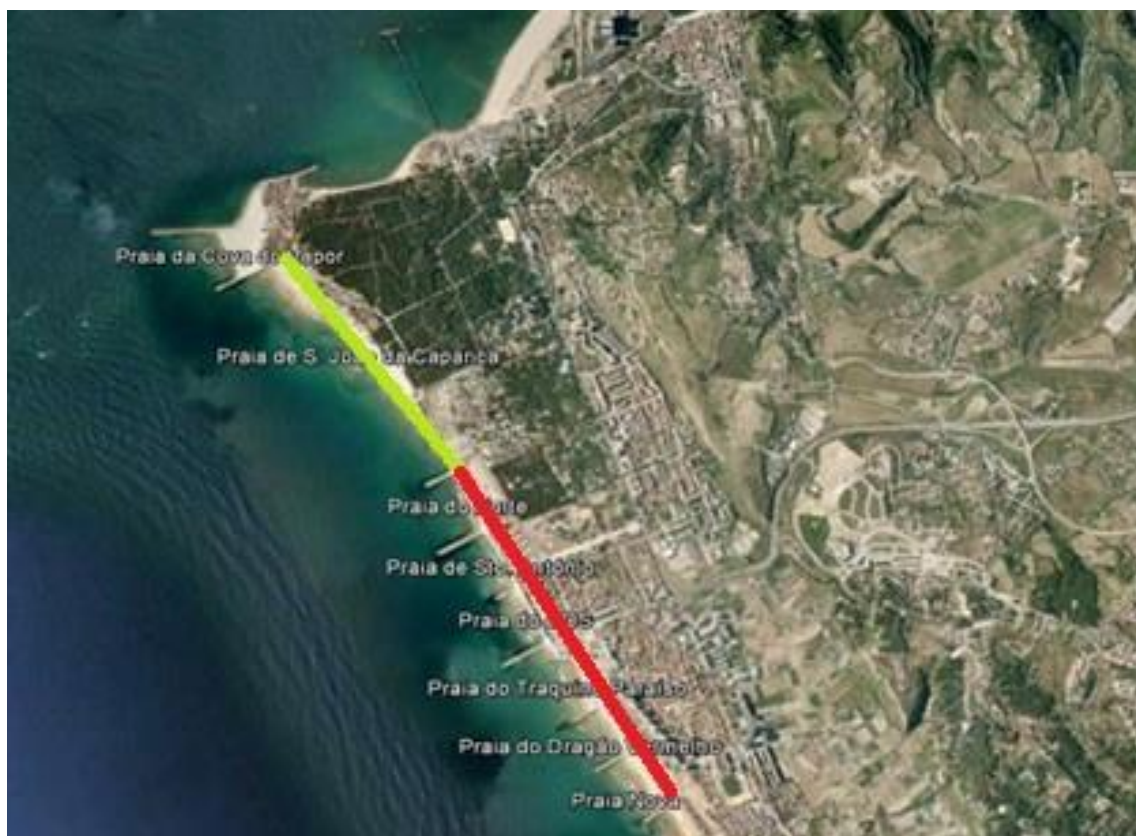


Figura 3.4 - Identificação da zona sem (verde) e com (vermelho) estrutura de proteção aderente nas praia da Costa da Caparica (adptado Google Earth)

As praias em estudo são divididas em dois grupos, que podemos observar na Figura 3.4: Praia São João da Caparica e as praias da Vila da Costa da Caparica.

As estruturas de proteção longitudinais aderentes são semelhantes em todas as praias. Só a parte norte da Praia de São João da Caparica é que não contém este tipo de proteção costeira. A estrutura é composta por uma camada constituída de enrocamento de diversas dimensões (Figura 3.5), o núcleo é constituído por areia e pedras de diferentes dimensões. A parte norte de São João da Caparica é protegida por um sistema dunar em restauro pelo Projeto ReDuna (Recuperação e Restauração Ecológica do Sistema Dunar de S. João da Caparica) (Figura 3.6), sendo que as dunas têm uma extensão de 750 m.

Esta praia que se encontra um bocado afastada do centro da Costa da Caparica oferece uma vista privilegiada sobre Lisboa e o estuário do Tejo, e na parte sul da praia é muito procurada por campistas, devido a proximidade da mesma com os parques de campismo da G.N.R., INATEL e do C.C.L.



Figura 3.5 - Proteção aderente ao longo das praias da Costa da Caparica



Figura 3.6 - Projeto ReDuna na Praia de São João da Caparica



Figura 3.7 - Vista a Sul da Praia São João da Caparica

O segundo grupo é composto pelas restantes praias em estudo: do Norte, de Santo António da Caparica, do CDS, do Tarquínio/Paraíso, do Dragão Vermelho e Praia Nova, Figura 3.8. São praias mais pequenas, mas são muito procuradas por surfistas e pela população residente no concelho de Almada, devido à sua proximidade com a cidade e por terem ligações privilegiadas com os transportes públicos.



Figura 3.8 - Vista a Sul das Restantes Praias da Costa da Caparica

Capítulo 4 - Caracterização da agitação ao largo e junto à costa

Neste capítulo, apresenta-se a caracterização da agitação marítima utilizada nesta dissertação com dados de outubro de 2007 até agosto de 2016, utilizados na aplicação das fórmulas empíricas e na aplicação das condições de fronteira do modelo XBEACH.

4.1 Caracterização da agitação marítima

4.1.1 Ao largo

Relativamente à agitação marítima ao largo, as condições são fornecidas pelos resultados do modelo WWIII (Tolman, 2002). Os valores considerados foram a altura significativa espectral (H_{m0}), o período de pico (T_p) e a direção de onda para a frequência de pico (θ). Os dados têm uma periodicidade de 6 horas e referem-se ao período entre outubro de 2007 e agosto de 2016. Estes valores foram obtidos com a ajuda de um software desenvolvido para o download automático no ponto de coordenadas geográficas (9.748801 W, 38.56720 N) (Poseiro, 2013).

Com base nos dados obtidos determinou-se o regime médio mensal descrito na Tabela 4.1, onde são apresentadas as médias dos valores estimados para as características da agitação marítima ao largo, por mês.

Tabela 4.1 - Valores médios mensais das características da agitação marítima ao largo entre 2007 e 2016

Mês	H _{so} (m)	T _p (s)	Dir (°)
Janeiro	3.063	10.511	298.501
Fevereiro	2.990	10.438	304.472
Março	2.518	9.050	307.109
Abril	1.920	9.059	303.988
Maio	2.219	7.894	313.034
Junho	1.660	7.275	314.619
Julho	1.610	6.896	327.539

Agosto	1.611	7.137	324.848
Setembro	1.701	8.381	314.405
Outubro	2.202	9.386	299.949
Novembro	2.680	9.707	309.094
Dezembro	2.872	10.302	290.189

Da Tabela 4.1, pode-se concluir que o maior valor médio mensal das alturas de onda significativa ao largo se regista nos meses de inverno, entre outubro e março inclusive. Da mesma forma os maiores valores dos períodos de pico também se registam nos meses de inverno. Já quanto à direção das ondas, nos meses de inverno, os estados de agitação vêm maioritariamente, de noroeste (NO), enquanto nos meses de verão, maioritariamente de oés-noroeste (ONO).

Relativamente aos valores máximos anuais (Tabela 4.2) da agitação marítima ao largo, coincidem com os meses que ocorrem as maiores médias. A maior altura de onda e o maior período de pico ocorreram no ano de 2011.

Tabela 4.2 -Valores máximos anuais das características da agitação marítima ao largo entre 2007 e 2016

Ano	Hs₀ (m)	T_p (s)	Dir(°)
2007	7.200	15.601	355
2008	9.590	14.815	360
2009	8.360	15.699	357
2010	7.410	14.286	359
2011	9.650	16.556	357
2012	5.610	15.129	359
2013	8.050	15.500	360
2014	8.020	16.500	359
2015	6.080	14.600	360
2016	6.460	15.000	360

Na Figura 4.1 e na Figura 4.2 apresentam-se os histogramas, correspondentes a H_{s0} e Dir e H_{s0} e T_p , respetivamente. Podemos afirmar, através dos histogramas, que grande parte dos estados de agitação têm alturas de onda significativa ao largo entre 1.5 m e 2.5 m, direções entre 320° e 340° , ou seja entre noroeste (NO) e nor-noroeste (NNO) e períodos de pico entre 6s e 8s.

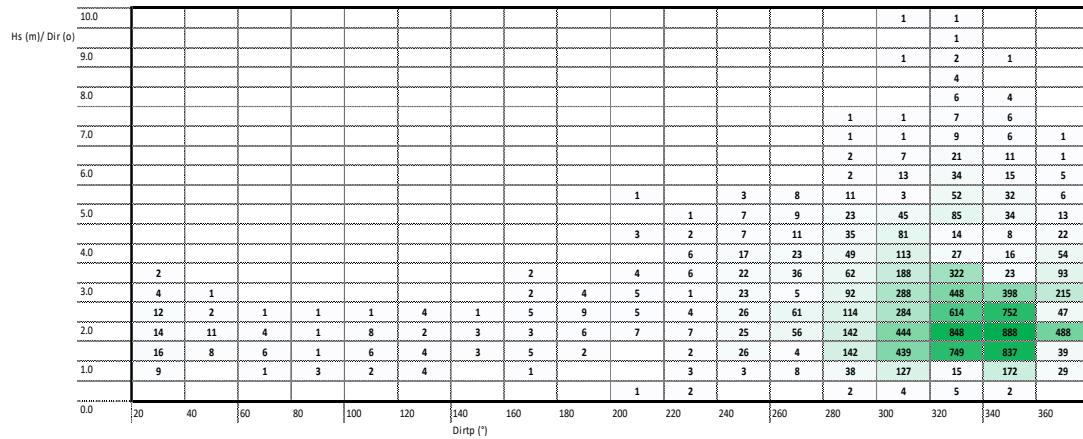


Figura 4.1 - Histograma que relaciona a altura de onda significativa ao largo (H_s) e a direção de onda ao largo (Dir)

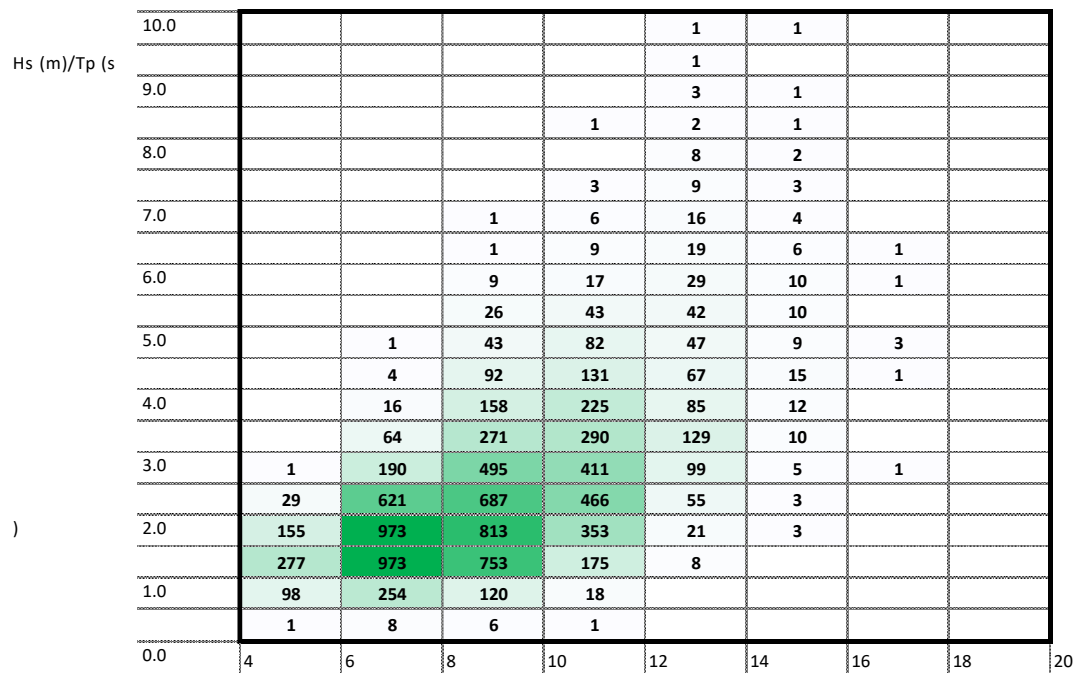


Figura 4.2 -Histograma que relaciona a altura de onda significativa ao largo (H_s) e o período de pico (T_p)

4.1.2 Junto à costa

Para obtermos as condições junto à costa, utilizou-se o modelo SWAN em modo estacionário, ou seja, sem condições de fronteira variáveis no tempo para o intervalo de tempo das previsões do WWIII, entre janeiro de 2013 e agosto de 2016. Posteriormente foram adicionados outros valores já executados por Martinho (2014), para o intervalo de tempo de outubro de 2007 e dezembro de 2012. Não foi considerada a ação do vento por falta de informação.

Relativamente ao nível de maré, usaram-se dados fornecidos pelo marégrafo de Cascais (IGEO), sendo que a sobrelevação do nível de mar já incluída, descreve a subida do nível de mar, influenciada pelas condições meteorológicas inconstantes, nomeadamente pelas variações do campo de pressão atmosféricas e/ou da ação dos ventos fortes e prolongados (Neves, 2013), já Martinho (2014) usou os dados fornecidos pelo marégrafo de Cascais (IGEO).

A batimetria utilizada nesta dissertação mais propriamente no modelo SWAN foi fornecida pelas cartas batimétricas do IH, sendo que altimetria proveniente do LIDAR, é bastante mais detalhada.

O modelo utilizado executou simulações para o intervalo de tempo em estudo (janeiro de 2013 a agosto de 2016), em modo estacionário, i.e., sem condições de fronteira variáveis no tempo. As simulações foram efetuadas com a versão SWAN 40.72, sem considerar a interação com ventos e correntes. Considerou-se ainda:

- ❖ O espectro direcional em frequência de 23 intervalos, de 0.04 a 1 Hz, com distribuição logarítmica e uma discretização em direção que cobre 360°, dividida em 90 intervalos. Este espectro é do tipo JONSWAP, que assume os parâmetros obtidos na campanha do Mar do Norte;
- ❖ Um coeficiente de rebentação constante de 0.65 para todo o período;
- ❖ Inclusão do fenómeno físico de difração.

Os resultados obtidos através do modelo SWAN permite-nos fazer uma análise em relação à altura de onda significativa (H_s), ao período de pico (T_p) e à direção das ondas (Θ), para os pontos P1 a P7, em frente a cada praia. No entanto, de seguida apenas são apresentados os resultados referentes ao P1 e ao P4, Praia de S. João da Caparica (P1) e Praia do CDS, respetivamente. Estas praias foram escolhidas por serem exemplos de uma praia sem estrutura de proteção marítima e de outra praia com estrutura marítima e com fenómenos de galgamentos documentados.

Na Figura 4.3 e na Figura 4.4 apresentam-se os valores da altura de onda significativa e período de pico nos pontos P1 e P4, respetivamente.

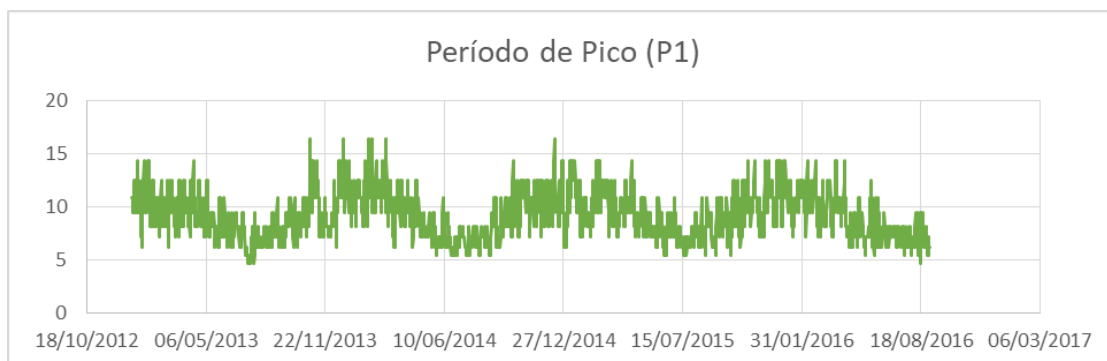
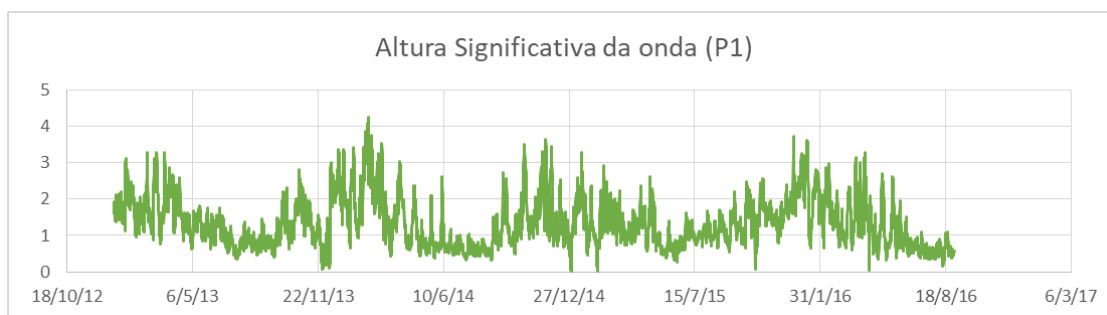


Figura 4.3 -Altura de onda significativa e período de pico no ponto P1.

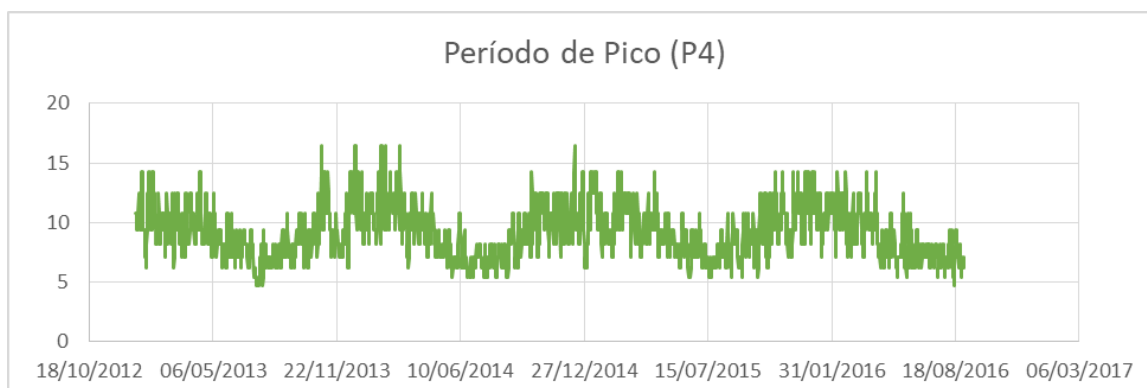
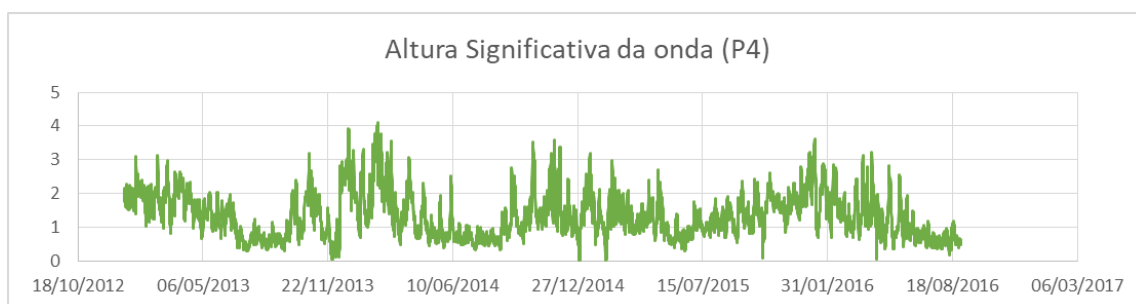


Figura 4.4 - Altura de onda significativa e período de pico no ponto P4.

Comparando as duas figuras referentes à altura de onda significativa, o andamento dos valores de H_s é semelhante. Pode-se afirmar que a variação da altura significativa de onda varia com as épocas do ano, sendo que a maior altura se encontra nas épocas de inverno e outono geralmente entre outubro e março e verificamos uma grande descida de ondulação nos meses de verão.

Analisando as figuras anteriores, a par da altura de onda significativa, o valor máximo do período de pico acontece nos meses de inverno, acompanhando, em geral as maiores ondulações. Observando as figuras acima podemos concluir que a variação do período de pico, entre o ponto P1 e o P4 é praticamente nulo, confirmando que o modelo SWAN não apresenta sensibilidade à variação do período de pico para distâncias pequenas, como é o caso existente entre o P1 e o P4. Na Tabela 4.3 e na Tabela 4.4 é possível observar os valores médios e máximos, nos diversos pontos da altura de onda significativa e do período de pico.

Pode-se verificar que a altura de onda decresce do P1 ao P7, mas que os valores se mantêm muito semelhantes uma vez que, estes pontos têm aproximadamente a mesma cota batimétrica.

Tabela 4.3 -Valores máximos e médios da altura de onda significativa nos vários pontos.

Ponto	Máximo (m)	Média (m)
P1	4.249	1.334
P2	4.232	1.313
P3	4.116	1.341
P4	4.120	1.341
P5	4.083	1.410
P6	4.169	1.379
P7	3.542	1.371

Tabela 4.4 -Valores máximos e médios do período de pico nos vários pontos.

Ponto	Máximo (m)	Média (m)
P1	16.428	9.146
P2	16.428	9.152
P3	16.428	9.147
P4	16.428	9.156
P5	16.428	9.162
P6	16.428	9.177
P7	16.428	9.17

4.2 Caracterização do runup e do galgamento

Neste subcapítulo, apresenta-se os valores obtidos através das metodologias anteriormente apresentadas (fórmulas empíricas e modelo numérico XBEACH), considerando as condições de agitação marítima que caracterizam a tempestade 1, compreendida entre os dias 3 e 7 de janeiro de 2014, a tempestade 2, compreendida entre os dias 8 e 10 fevereiro de 2014 a tempestade 3 compreendida entre os dias 24 e 25 fevereiro 2015 e a tempestade 4 compreendida entre os dias 14 e 16 fevereiro 2016.

Posteriormente, será feita uma comparação dos resultados numéricos obtidos, de modo a avaliar o desempenho do modelo XBEACH na estimação dos valores de NMI e de galgamento.

4.2.1 Condições de aplicação das fórmulas empíricas

As fórmulas empíricas têm como grande objetivo determinar o runup, o NMI ou o galgamento. As fórmulas que tem a intenção de determinar o runup e o NMI apenas foram aplicadas para a secção S1, zona mais a norte da Praia de S. João da Caparica.

Quanto ao galgamento é um fenómeno que pode ocorrer em praias com ou sem estrutura de proteção aderente. Por isso, é mais revelante acontecer em praias com estrutura de proteção. Posto isto interessar analisarmos e estudarmos esse fenómeno nas praias do Norte (S2), de Santo António da Caparica (S3), do CDS (S4), do Tarquínio/Paraíso (S5), do Dragão Vermelho (S6) e

Nova Praia (S7). No entanto só será apresentada neste subcapítulo a configuração de aplicação referente à Praia do CDS (S4).

Praias sem estrutura aderente – Praia de São João da Caparica (norte)

De modo a obter os valores de $R_{1\%}$, $R_{2\%}$, R_s , $R_{m\acute{a}x}$, $R_{m\acute{e}d}io$ e NMI, utilizou-se o programa em linguagem FORTRAN, concebido por Fortes et al. (2013a), que determina o runup e associadamente o NMI através das formulações apresentadas na Tabela 2.2. Para este programa considerou-se os 2 ficheiros de dados (“alturas_condicoeslargo” e “dados_condicoeslargo”), ilustrados no Anexo A.

Um dos ficheiros (“alturas_condicoeslargo”) destina-se à informação referente à condição de agitação marítima. Contendo os dados de altura de onda significativa (H_s), ao período de pico (T_p) e direção de onda (Θ) resultantes das simulações executados pelo modelo SWAN, para o ponto correspondente à praia (P1), bem como o nível de maré ($S_{m\acute{a}x}$) oriundo das medições do marégrafo de Cascais.

A periodicidade dos resultados é influenciada pela periodicidade dos dados de agitação marítima. Os dados de agitação marítima fornecidos têm uma periodicidade de 6 horas, posto isto o resultado também tem essa periodicidade.

O outro ficheiro (“dados_condicoeslargo”) contém informação relativa ao perfil da praia, nomeadamente a cota batimétrica a que se encontra o ponto referente aos valores determinados pelo modelo SWAN e o ângulo do perfil de praia, determinado a partir da linha adaptada para representar a face do perfil, obtida através da técnica LIDAR.

Praias com estrutura aderente – Restantes Praias

Em relação ao galgamento utilizou-se o programa de linguagem FORTRAN desenvolvido por Fortes et al. (2013b), que determina o runup e o caudal galgado pelas fórmulas empíricas desenvolvidas por Mase et al. (2013), apresentadas na Tabela 2.3.

O ficheiro “alturas_condicoeslargo” engloba informações relativas às condições de agitação marítimas, no ponto correspondente à praia em estudo, neste caso o ponto P4. Foram utilizados os resultados obtidos na aplicação SWAN.

O outro ficheiro “dados_condicoeslargo” engloba informação relativa ao perfil de praia e à definição de fórmulas a considerar, nomeadamente, a cota batimétrica do ponto referente à praia, a largura e a cota de coroamento da estrutura, o declive do perfil da praia, o método a utilizar, o declive do fundo e o grau de permeabilidade do talude (γf).

A cota batimétrica é a do ponto referente aos dados determinados pelo modelo SWAN. O mesmo se passa com a largura do coroamento da estrutura e o declive do fundo (1:100). O declive da praia é determinado através da linha adaptada para representar a face do perfil obtido, através da técnica LIDAR.

A cota de coroamento da estrutura também é calculada através do perfil da praia, sendo que o método a utilizar, no caso a analisar é o método 2, em que $R_{\text{máx}} = R_{\text{máx}.99\%,100\%}$ (runup não excedido em 99% dos casos de 100 ondas).

O grau de permeabilidade do talude (γf) é 0.5, uma vez que a estrutura de proteção é composta por enrocamento. De modo a analisar o comportamento do modelo em relação ao declive do fundo, o modelo foi testado para os restantes casos possíveis, 1:10, 1:20, 1:30, no entanto as diferenças são insignificantes.

No caso da geometria do fundo e da estrutura (“estrutura”), é necessário um ficheiro complementar, sendo que este ficheiro obtém a informação partindo do perfil obtido através da técnica LIDAR. Por último é fornecido um ficheiro (“Tabela_Geral”) em forma de tabela que relaciona a declividade da onda e a altura de rebentação para o declive do fundo 1:10, 1:20, 1:30 e 1:100.

Os resultados são o comprimento de onda ao largo ($L0$), à declividade da onda ao largo ($H0/L0$), à altura de rebentação adimensional ($hb/H0$), à razão entre a profundidade do ponto inicial e o comprimento de onda, aos runup’s ($R_{2\%}$, $R_{1/10}$, $R_{1/3}$, $R_{\text{máx}}$), ao caudal e ao caudal final, afetado pelo fator de correção (Cr), sendo solicitados 4 ficheiros de dados (“alturas_condicoeslargo”, “dados_condicoeslargo”, “estrutura” e “Tabela_Geral”), ilustrados no Anexo A.

4.2.2 Condições de aplicação do modelo XBEACH

Nesta dissertação, foi utilizado o modelo XBEACH que já foi aplicado anteriormente por Heleno, (2016). Pretende-se efetuar a propagação de ondas desde junto à costa (onde são obtidos os pontos dos resultados do modelo SWAN) até à costa, determinando o NMI e o caudal galgado. Tendo em conta que o caudal galgado não é um parâmetro resultante direto do modelo XBEACH, o seu cálculo foi determinado recorrendo à altura e à velocidade de água que transpõe a estrutura de proteção aderente.

O domínio do modelo neste caso é definido por três ficheiros “x”, “y” e “bed” e tem dimensão de 1D, que se equipara a um perfil transversal. Através do perfil obtido pela técnica lidar estes ficheiros fornecem as coordenadas de cada ponto e a respetiva batimetria, sendo que o modelo define os limites do domínio (*back, front, left and right,*) como observado na Figura 2.9.

A responsável pela geração de ondas é a fronteira *front*, para que as condições sejam impostas no modelo corretamente foi selecionada a fronteira *abs_1*, sendo que este tipo de fronteira é de baixa reflexão e também foi aplicado a fronteira *back*, permitindo que as ondas saiam do domínio sem reflexão.

Já as fronteiras laterais (*left and right*) não influenciam de uma maneira geral os resultados numéricos do modelo. Foi necessário fornecer informações sobre a área para além do domínio, o tipo de fronteira utilizado (*neumann*), recomendado pelo manual, não permite que haja uma mudança no nível da água e da velocidade da mesma, quando a fronteira é transposta (Heleno,2016).

A geração de ondas realizada na fronteira *front* necessita da condição de agitação marítima a impor. Optou-se por fornecer essa informação através do ficheiro “*jonswap*”, sendo considerado uma série temporal de um espectro de ondas JONSWAP, proveniente do modelo SWAN. Os dados solicitados são a altura significativa espectral do estado de agitação (H_{m0}), período de pico da onda (T_p), direção da onda ($mainang$), o fator de aguçamento de pico da expressão JONSWAP ($gamma_{jsp}$), coeficiente de espalhamento direcional (s), a duração e a resolução da série temporal ($duration$ e $dtbc$, respetivamente), referentes aos pontos que correspondem a cada praia e nas datas desejadas (tempestade 1, tempestade 2, tempestade 3 e tempestade 4).

O ficheiro “*tide*” contém informação oriunda do marégrafo de Cascais que é referente ao nível de maré, para as datas desejadas das tempestades, sendo que o nível de maré é composto pela soma da maré astronómica com a sobrelevação. Assim sendo o modelo é obrigado a assumir que de 6 em 6 horas, o nível de maré é igual ao especificado no ficheiro.

Relativamente aos ficheiros “*camada*” e “*params*”, o primeiro destina-se a ter informações sobre a estrutura de proteção que menciona a espessura da camada que é possível ser erodida, por isso na parte do perfil transversal considera-se nula, o segundo fornece informações relativas à direção das ondas, aos processos (ativação/inativação), aos parâmetros dos processos e aos outputs’s.

A gama de direções das ondas pode ser fornecida descrevendo dois ângulos, como observado na figura X. Após uma análise feita às direções de ondas (θ), foi fornecido o ângulo mínimo (θ_{amin}) de 90° e o ângulo máximo (θ_{amax}) de 90° que determinam o intervalo que as direções das ondas podem tomar.

Os processos físicos ajustam a simulação a realidade ativando. Nesta dissertação foram considerados os processos selecionados por padrão, exceto o processo não hidrostático (*nohn*) e o do esprai de ondas curtas (*swrunup*). Estes processos são realmente importantes para este caso de estudo, pois procuramos que estes processos definem com máximo possível a realidade.

Os outputs's (Tabela 2.6) são do tipo globais e pontuais, visto que foi solicitado que estes fossem registados do primeiro ao último instante da simulação e com uma frequência de 1 Hz (1/segundo). O tempo de duração das tempestades é fornecido e corresponde à duração em segundos das mesmas neste caso tempestade 1, tempestade 2, tempestade 3 e tempestade 4.

A par das formulações empíricas quando se trata de determinar o runup, apenas foi aplicado o modelo XBEACH para a secção S1, zona mais a norte da Praia de S. João da Caparica (S1). O modelo regista no ficheiro "xboutput" os output's solicitados e com o auxílio da ferramenta MATLAB foi exportado desse ficheiro o output que inclui a informação desejada, a variação do nível de água incluindo o runup, denominado por runup gauge output. Neste caso da secção S1, para que o modelo simule e forneça os resultados desejados, necessita de pelo menos 6 ficheiros de entrada ("x", "y", "bed", "jonswap", "tide" e "params"), ilustrados no Anexo A. É importante ativar o output do tipo sonda e impor que o ponto inicial do perfil, onde se pretende avaliar o espraçamento, se localize no areal da praia.

Como foi referido anteriormente no estudo do galgamento, apenas foi estudada detalhadamente a Praia do CDS (P4). É importante analisar a variação do nível de água e a velocidade da mesma num determinado ponto, registado pelo modelo no ficheiro "xboutput". Com o auxílio da ferramenta MATLAB foi exportado desse ficheiro os output's que incluem as informações desejadas, denominados por zs (altura de água) e u (velocidade euleriana da água na componente horizontal) (Heleno,2016).

Posteriormente, subtraiu-se ao nível de maré a cota do coroamento da estrutura de proteção, de modo a obter-se a altura de água que atravessa o ponto (Zd) e aplicando a equação (41) determinou-se o caudal galgado.

No caso da secção P4, para que o modelo simule e forneça os resultados desejados necessita de, pelo menos 7 ficheiros de entrada ("x", "y", "bed", "jonswap", "tide" "params" e "camada"), ilustrados no Anexo A.

É importante ativar o processo struct no ficheiro "params", para que o ficheiro "camada" seja considerado e mencionar o ponto (coroamento da estrutura de proteção aderente) onde se façam registos do nível de água e da respetiva velocidade.

O caudal galgado é instantâneo, ou seja, é dado ao segundo e por isso, é igual ao volume de água que transpõe a estrutura num determinado segundo.

Note-se que na aplicação do modelo XBEACH, devido ao esforço computacional exigido (incompatível com os limites temporais do presente trabalho), só foram analisados os resultados do mesmo proveniente de quatro tempestades, compreendidas entre 2014 e 2016.

4.2.2.1 Seleções das tempestades

A seleção das tempestades, baseou-se em vários critérios após se estudar a agitação marítima ao largo ao longo de sensivelmente 9 anos. Considerou-se que somente os estados de agitação de altura significativa ao largo, superior a 5 m de altura e com uma persistência de 2 dias poderiam, de algum modo, afetar a zona costeira.

Após análise e filtragem foram identificados nos dados ao largo, oriundos do WIII, 4 tempestades, todas elas nos períodos de inverno.

A tempestade 1 é a que tem maior duração (5 dias) e foi registada entre o dia 3 e o dia 7 de janeiro de 2014, a tempestade 2 foi registada entre o dia 8 e o dia 10 de fevereiro de 2014, tempestade 3 foi registada entre o dia 24 e o dia 25 de fevereiro de 2015 e por fim a tempestade 4 foi registada entre o dia 14 e o dia 16 de fevereiro de 2016.

As quatro tempestades estão registadas nas Tabelas 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10:

Tabela 4.5 - Valores das características da agitação marítima ao largo entre 03/01/2014 e 07/01/2014

Ano	Mês	Dia	hora	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
2014	1	3	1	3.56	11.1	291
2014	1	3	6	3.4	10.8	290
2014	1	3	12	3.63	12.1	296
2014	1	3	18	4.07	13.2	300
2014	1	4	1	4.55	13.5	300
2014	1	4	6	5.17	12.4	293
2014	1	4	12	6.29	12	292
2014	1	4	18	6.33	13.4	300
2014	1	5	1	5.81	14.1	301
2014	1	5	6	5.23	13.8	300
2014	1	5	12	4.66	13.4	299
2014	1	5	18	4.09	12.6	297
2014	1	6	1	3.78	11.7	291
2014	1	6	6	4.28	12.3	285
2014	1	6	12	5.42	14.7	290
2014	1	6	18	6.2	16.4	297
2014	1	7	1	6.39	16.5	298
2014	1	7	6	6.12	16.1	297
2014	1	7	12	5.98	15.9	297
2014	1	7	18	5.48	15.4	296

Tabela 4.6 -Valores das características da agitação marítima ao largo entre 08/02/2014 e 10/02/2014.

Ano	Mês	Dia	hora	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
2014	2	8	18	5.37	14.1	303
2014	2	9	1	6.22	15.4	307
2014	2	9	6	5.85	14.9	308
2014	2	9	12	6.24	12.1	288
2014	2	9	18	7.28	11.4	283
2014	2	10	1	8.02	12.2	301
2014	2	10	6	7.21	12.1	310
2014	2	10	12	5.84	12.1	313
2014	2	10	18	4.86	12.1	314

Tabela 4.7 -Valores das características da agitação marítima ao largo entre 24/02/2014 e 25/02/2014

Ano	Mês	Dia	hora	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
2015	2	24	1	3.16	10.2	322
2015	2	24	6	3.96	12.6	324
2015	2	24	12	4.79	14.3	326
2015	2	24	18	5.29	14.4	328
2015	2	25	1	5.36	14.2	328
2015	2	25	6	4.93	14.4	326
2015	2	25	12	4.48	13.6	325
2015	2	25	18	4.1	12.2	327

Tabela 4.8 -Valores das características da agitação marítima ao largo entre 14/02/2016 e 15/02/2016.

Ano	Mês	Dia	hora	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
2016	2	14	1	4.04	10.2	296
2016	2	14	6	4.46	9.9	299
2016	2	14	12	5.74	10.1	308
2016	2	14	18	6.36	10.8	316
2016	2	15	1	6.31	11.2	322
2016	2	15	6	6.46	11.7	326
2016	2	15	12	6.25	11.5	332
2016	2	15	18	6.26	11.1	339
2016	2	16	1	5.24	10.8	344
2016	2	16	6	4.15	10.7	339

Outro dos critérios utilizados para a escolha das tempestades tem como base uma pesquisa nos meios de comunicação, relatos sobre ocorrências de inundações na zona. Os meios de comunicação consultados foram o Correio da Manhã (CM), Jornal de Notícias (JN) e Diário de Notícias (DN).

A Figura 4.5 mostra excertos dos relatos sobre comunicação social, quer de inundação quer de destruição parcial, nas praias em estudo.

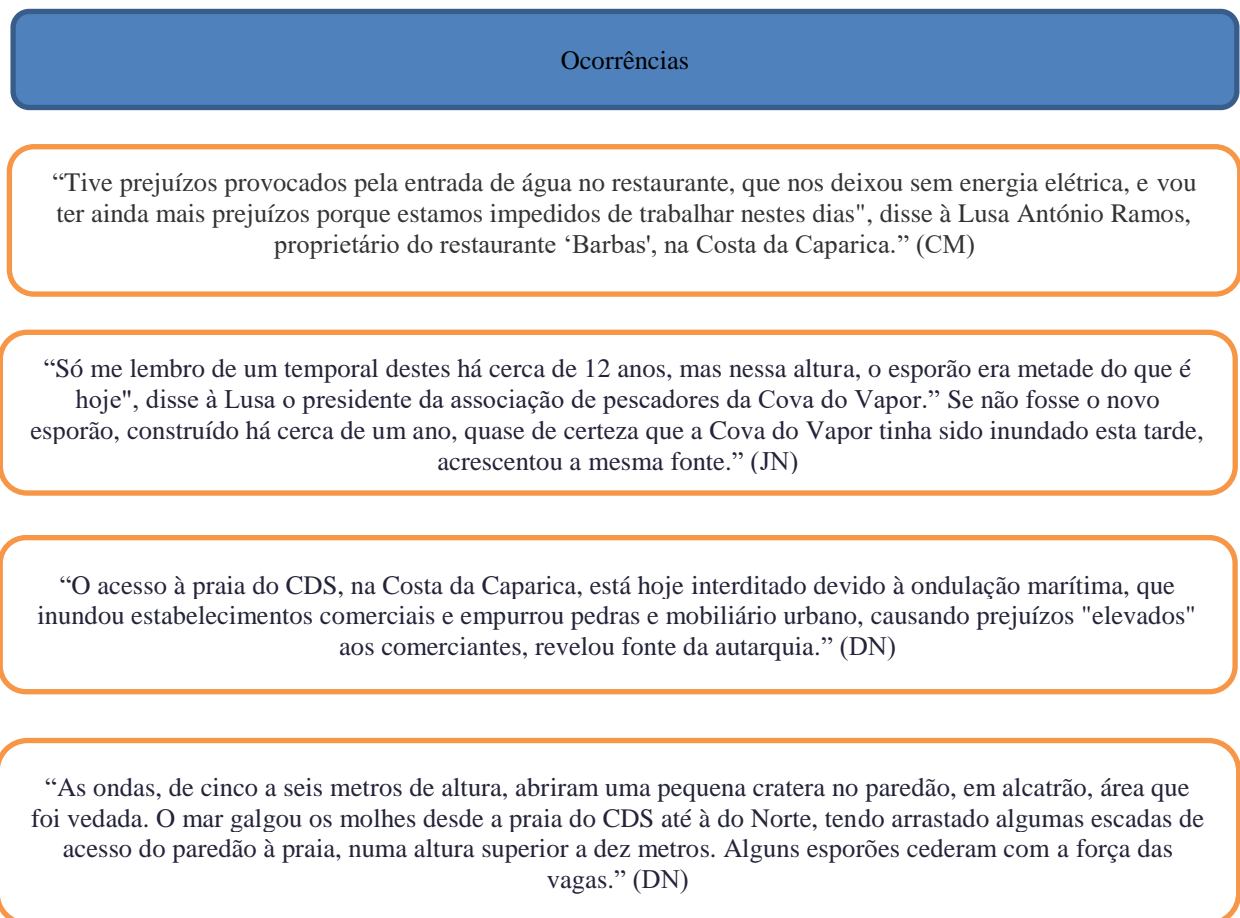


Figura 4.5 -Excertos de relatos de ocorrências nas praias da Costa da Caparica

Com base nestes relatos, conclui-se que as tempestades 1 e 2 têm relatos nos meios de comunicação social. A tempestade 1 foi designada de tempestade Hércules. As tempestades 3 e 4 apesar da forte agitação marítima em termos de altura significativa de onda e período de pico, não foram registados relatos acerca dos mesmos.



Figura 4.6 -Danos e galgamentos devido a tempestades sentidas no Inverno de 2014

Cruzando a seleção de cada critério, conclui-se que existem quatro tempestades que podem ser utilizadas, uma em janeiro de 2014, uma em fevereiro de 2014, uma em fevereiro de 2015 e por fim a última em fevereiro de 2016.

Capítulo 5 - Análise de resultados

Neste capítulo, inicialmente são apresentados e analisados os valores obtidos através das metodologias apresentadas anteriormente (fórmulas empíricas e modelo numérico XBEACH). Considerando as condições de agitação marítima que caracterizam a tempestade 1, compreendida entre os dias 3 e 7 de janeiro de 2014 mais concretamente a tempestade “Hércules”, a tempestade 2 compreendida entre os dias 8 e 10 de fevereiro de 2014, a tempestade 3 compreendida entre os dias 24 e 25 de fevereiro de 2015 e por fim a tempestade 4 compreendida entre os dias 14 a 16 de fevereiro de 2016.

Posteriormente será feita uma comparação dos resultados numéricos obtido, de modo a avaliar o desempenho do modelo XBEACH na estimação dos valores de NMI e de galgamento.

5.1 Fórmulas empíricas

Como já referido anteriormente as fórmulas empíricas têm diferentes objetivos, umas determinam o runup e outras o runup e o caudal galgado, consoante sejam aplicadas em praias com ou sem estrutura de proteção, respetivamente. Seguidamente são apresentados e analisados os resultados obtidos das fórmulas empíricas para as tempestades 1,2,3 e 4.

5.1.1 Análise dos valores estimados de NMI

Os resultados apresentados neste subcapítulo referem-se somente à Praia de S. João da Caparica (P1).

5.1.1.1 Tempestade 1

Na Figura 5.1, Figura 5.2, Figura 5.3 e Figura 5.4 apresentam-se os valores de NMI obtidos com as diferentes formulações para a tempestade 1.

Observando as figuras verifica-se uma semelhança na variação dos valores de NMI, uma vez que o pico do mesmo ocorre nas horas de preia-mar e os menores valores ocorrem nas horas de baixa-mar, o que é compreensível devido a variação do nível de maré.

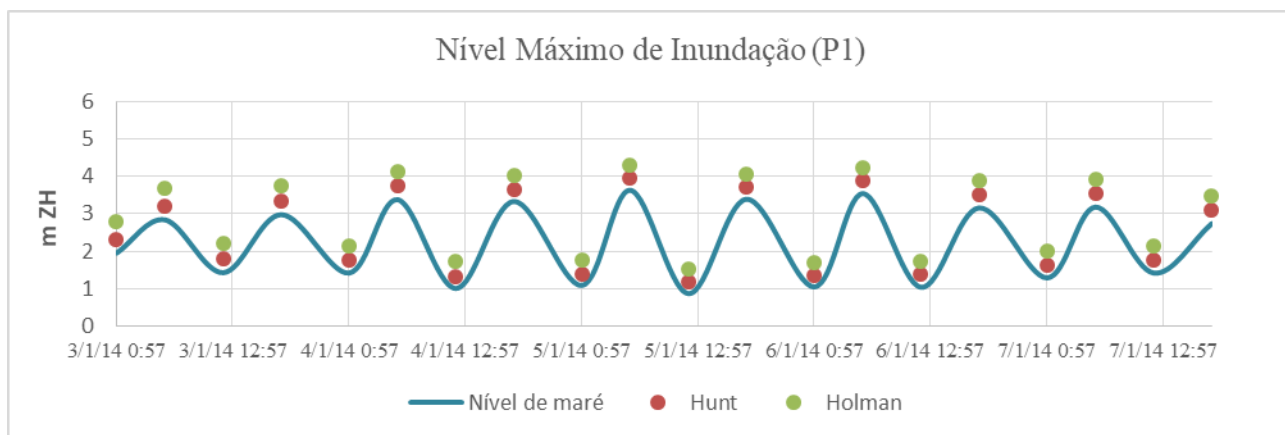


Figura 5.1 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Hunt (1959) e Holman (1986) para a tempestade 1.

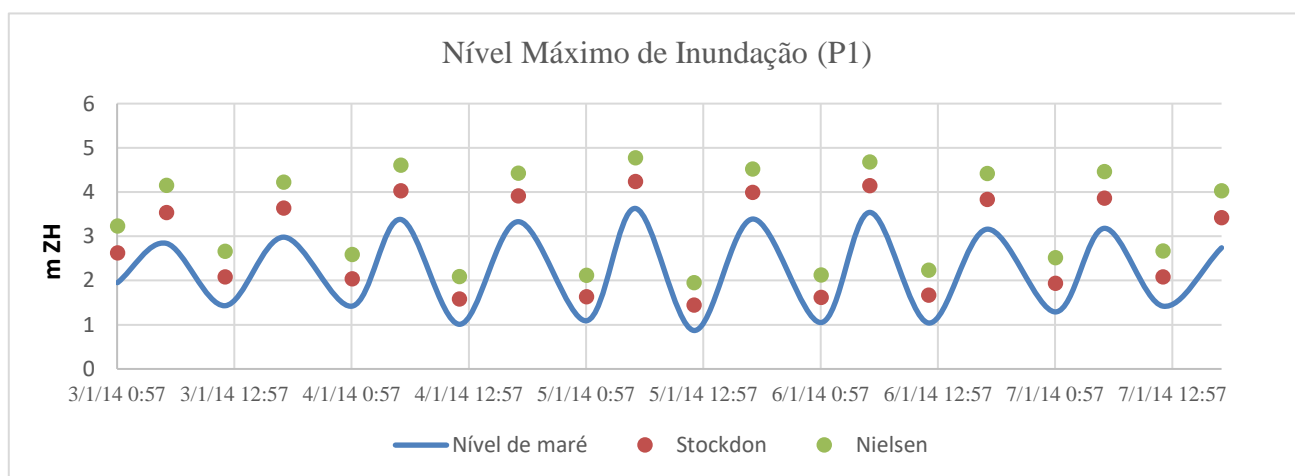


Figura 5.2 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Stockdon et al (2006) e Nielsen e Hanslow (1991) para a tempestade 1.

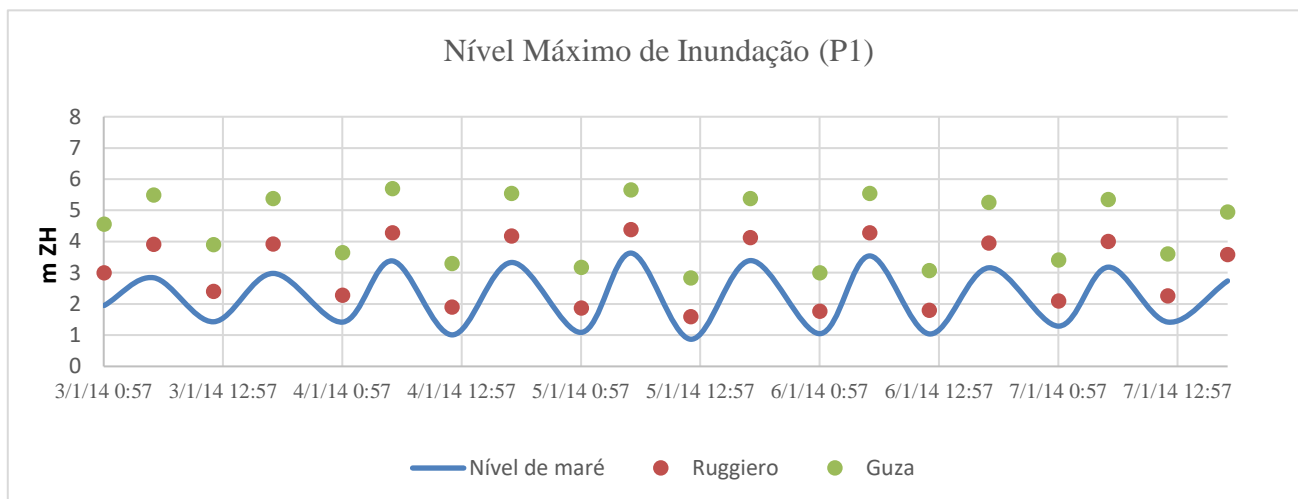


Figura 5.3 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Ruggiero et al (2001) e Guza e Thornton (1982) para a tempestade 1.

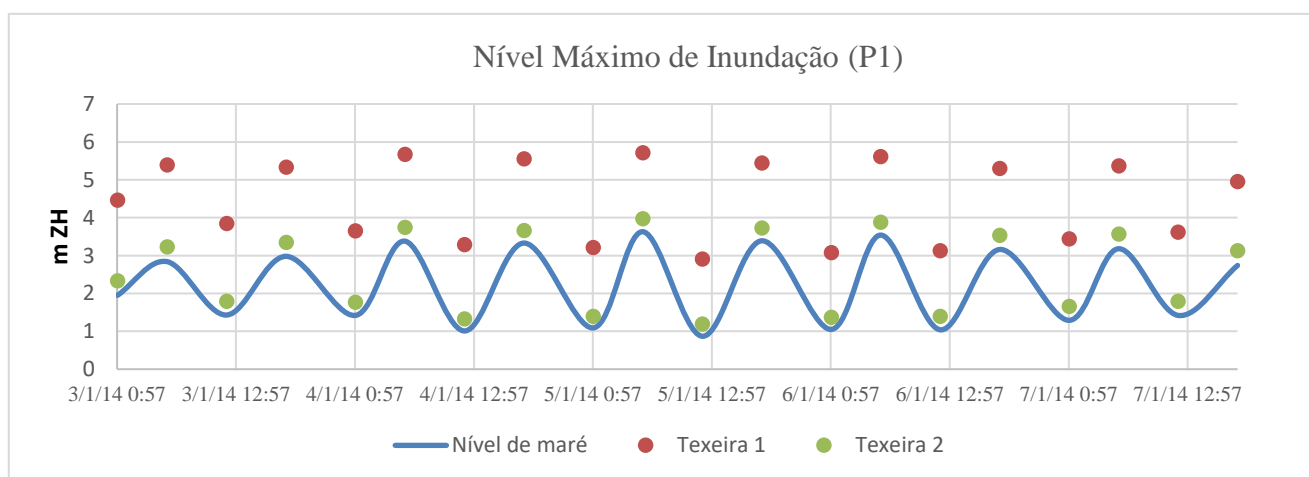


Figura 5.4 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Teixeira (2009) para a tempestade 1.

A Tabela 5.1 apresenta a compilação dos valores mais importantes para a análise, possibilitando a comparação dos resultados obtidos.

Tabela 5.1 -Valores extremos e média do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinados através das metodologias das diferentes formulações empíricas para a tempestade 1.

Autores	Mínimo (m ZH)	Máximo (m ZH)	Média (m ZH)
<i>Hunt (1959)</i>	<i>1.181</i>	<i>3.961</i>	<i>2.579</i>
<i>Holman (1986)</i>	<i>1.52</i>	<i>4.309</i>	<i>2.960</i>
<i>Stockdon et al. (2006)</i>	<i>1.443</i>	<i>4.242</i>	<i>2.868</i>
<i>Nielsen e Hanslow (1991)</i>	<i>1.95</i>	<i>4.775</i>	<i>3.424</i>
<i>Ruggiero et al. (2001)</i>	<i>1.592</i>	<i>4.38</i>	<i>3.076</i>
<i>Guza e Thornton (1982)</i>	<i>2.833</i>	<i>5.688</i>	<i>4.432</i>
<i>Teixeira 1 (2009)</i>	<i>2.906</i>	<i>5.707</i>	<i>4.445</i>
<i>Teixeira 2 (2009)</i>	<i>1.188</i>	<i>3.97</i>	<i>2.587</i>

Observa-se que o intervalo dos resultados obtidos para o NMI, durante a tempestade 1, varia entre 3.97 m (ZH) e 5.707 m (ZH), sendo o valor mais elevado o de Teixeira 1 (2009).

Em relação aos valores médios, a variação é menor entre as diferentes formulações, apresentado valores entre 2.579 m (ZH) e 4.445 m (ZH), este último associado a metodologia de Teixeira 1 (2009).

O valor máximo obtido, para a tempestade 1, é de 5.707 m.

5.1.1.2 Tempestade 2

Na Figura 5.5, Figura 5.6, Figura 5.7 e Figura 5.8 apresenta-se os valores de NMI obtidos com as diferentes formulações para a tempestade 2.

É notório verificar, analisando as figuras que existe uma semelhança na variação dos valores de NMI, como já tinha acontecido na tempestade 1. Os valores mais elevados ocorrem nas horas de preia-mar e os menores valores ocorrem nas horas de baixa-mar, devido a variação do nível de maré.

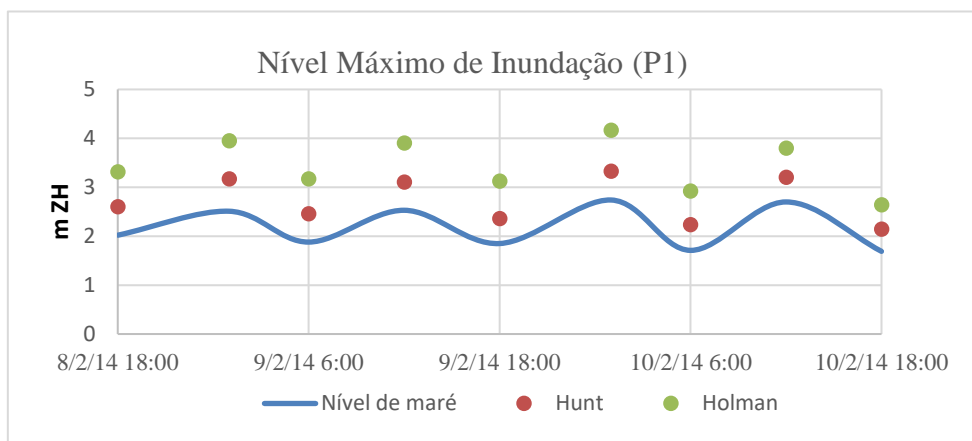


Figura 5.5 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Hunt (1959) e Holman (1986) para a tempestade 2.

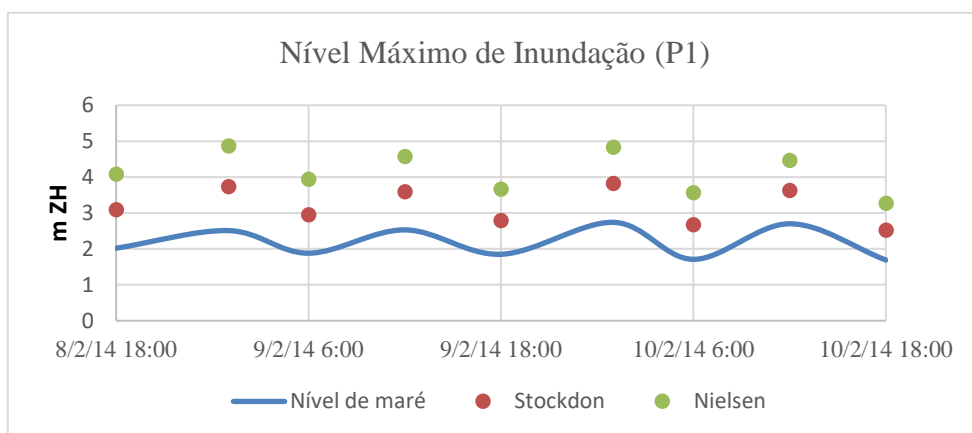


Figura 5.6 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Stockdon et al (2006) e Nielsen e Hanslow (1991) para a tempestade 2.

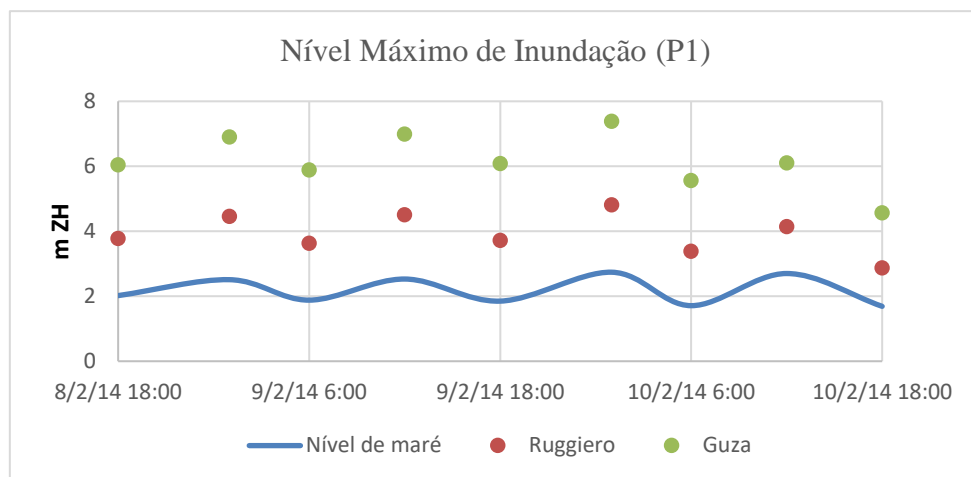


Figura 5.7 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Ruggiero et al (2001) e Guza e Thornton (1982) para a tempestade 2.

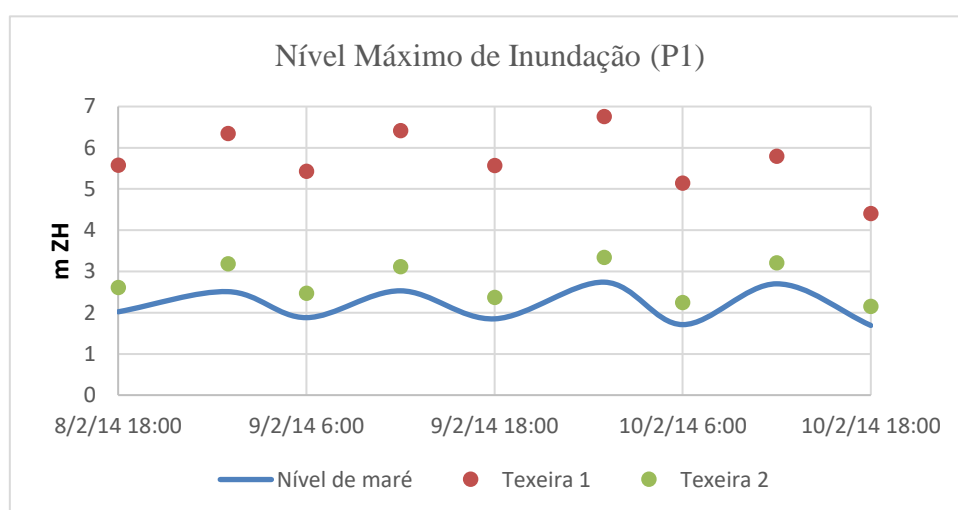


Figura 5.8 - Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Teixeira (2009) para a tempestade 2.

A Tabela 5.2 apresenta-se a compilação dos valores mais importantes para análise, possibilitando a comparação dos resultados obtidos.

Tabela 5.2 - Valores extremos e média do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinados através das metodologias das diferentes formulações empíricas para a tempestade 2

Autores	Mínimo (m ZH)	Máximo (m ZH)	Média (m ZH)
<i>Hunt (1959)</i>	2.141	3.327	2.733
<i>Holman (1986)</i>	2.643	4.163	3.443
<i>Stockdon et al. (2006)</i>	2.521	3.821	3.197
<i>Nielsen e Hanslow (1991)</i>	3.272	4.865	4.139
<i>Ruggiero et al. (2001)</i>	2.872	4.808	3.920
<i>Guza e Thornton (1982)</i>	4.567	7.379	6.167
<i>Teixeira 1 (2009)</i>	4.403	6.759	5.716
<i>Teixeira 2 (2009)</i>	2.151	3.34	2.745

Observa-se que o intervalo dos resultados obtidos para o NMI, durante a tempestade 2, varia entre 3.327 m ZH e 7.379 m ZH, sendo o valor mais elevado o de Guza e Thornton (1982).

Em relação aos valores médios a variação é menor entre as diferentes formulações, apresentando valores entre 2.733 m ZH e 7.379 m ZH, este último associado a metodologia de Guza e Thornton (1982).

O valor máximo obtido, para a tempestade 1, é de 7.359 m.

5.1.1.3 Tempestade 3

Na Figura 5.9, Figura 5.10, Figura 5.11 e Figura 5.12 apresenta-se os valores de NMI obtidos com as diferentes formulações para a tempestade 3.

É notório verificar, analisando as figuras que existe uma semelhança na variação dos valores de NMI, como já tinha acontecido na tempestade 1 e 2. Os valores mais elevados ocorrem nas horas de preia-mar e os menores valores ocorrem nas horas de baixa-mar, devido a variação do nível de maré.

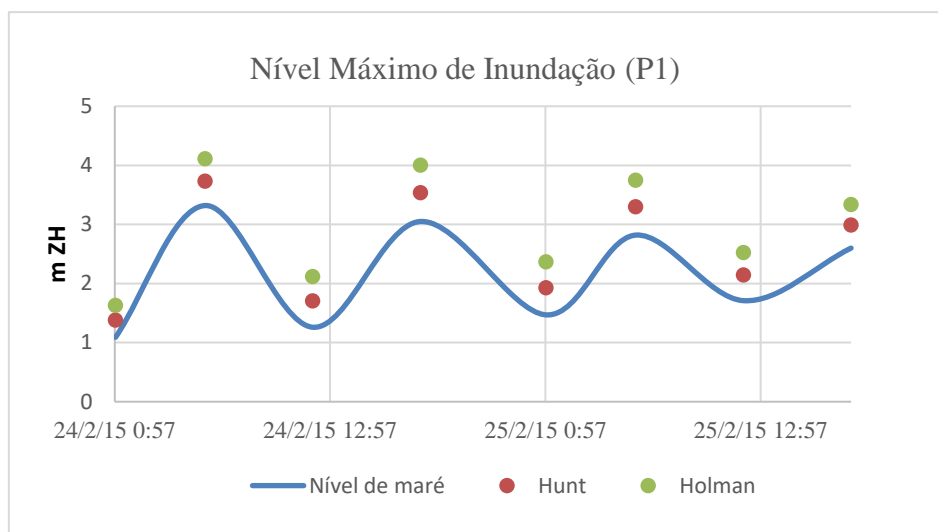


Figura 5.9 - Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Hunt (1959) e Holman (1986) para a tempestade 3.

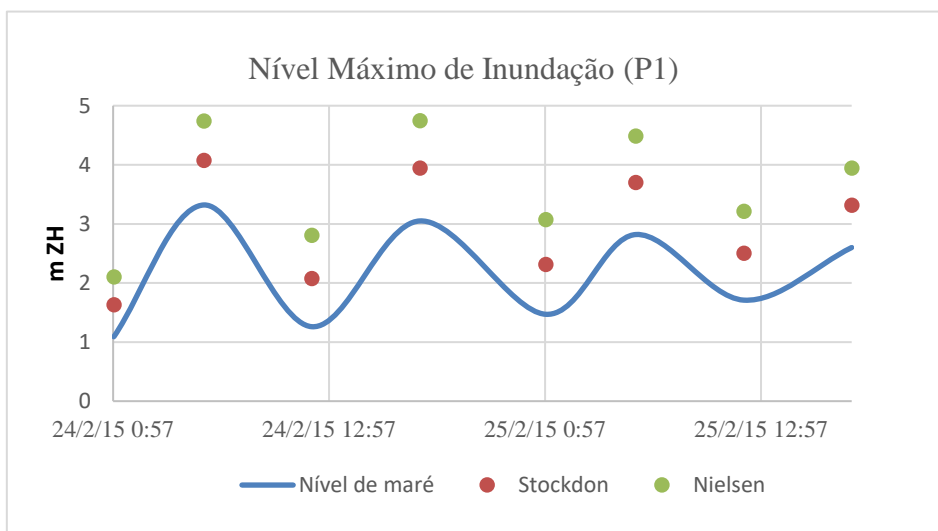


Figura 5.10 - Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Stockdon et al (2006) e Nielsen e Hanslow (1991) para a tempestade 3.

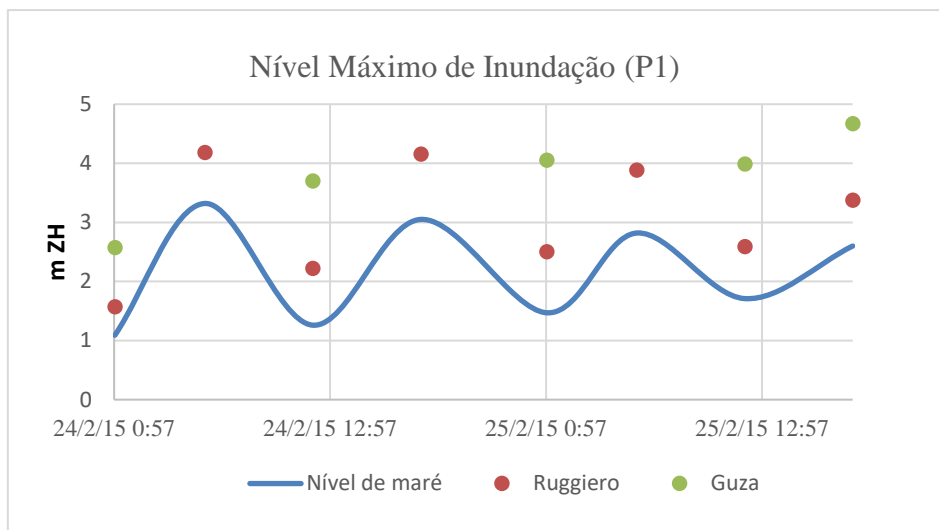


Figura 5.11 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Ruggiero et al (2001) e Guza e Thornton (1982) para a tempestade 3.

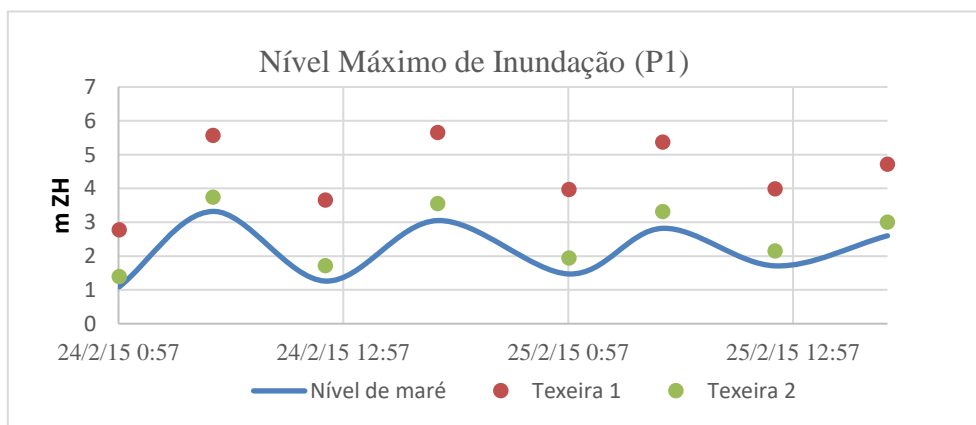


Figura 5.12 - Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Teixeira (2009) para a tempestade 3.

A Tabela 5.3 apresenta-se a compilação dos valores mais importantes para análise, possibilitando a comparação dos resultados obtidos.

Tabela 5.3 -Valores extremos e média do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinados através das metodologias das diferentes formulações empíricas para a tempestade 3

Autores	Mínimo (m ZH)	Máximo (m ZH)	Média (m ZH)
<i>Hunt (1959)</i>	1.384	3.731	2.589
<i>Holman (1986)</i>	1.629	4.112	2.981
<i>Stockdon et al. (2006)</i>	1.630	4.076	2.945
<i>Nielsen e Hanslow (1991)</i>	2.103	4.749	3.641
<i>Ruggiero et al. (2001)</i>	1.572	4.186	3.062
<i>Guza e Thornton (1982)</i>	2.577	5.776	4.477
<i>Teixeira 1 (2009)</i>	2.773	5.651	4.459
<i>Teixeira 2 (2009)</i>	1.390	3.740	2.598

Observa-se que o intervalo dos resultados obtidos para o NMI, durante a tempestade 3, varia entre 3.731 m ZH e 5.776 m ZH, sendo o valor mais elevado o de Guza e Thornton (1982).

Em relação aos valores médios, a variação é menor entre as diferentes formulações, apresentado valores entre 2.589 m ZH e 4.477 m ZH, este último associado a metodologia de Guza e Thornton (1982). O valor máximo obtido, para a tempestade 3, é de 5.776 m.

5.1.1.4 Tempestade 4

Na Figura 5.13, Figura 5.14, Figura 5.15 e Figura 5.16 apresenta-se os valores de NMI obtidos com as diferentes formulações para a tempestade 4.

É notório verificar, analisando as figuras que existe uma semelhança na variação dos valores de NMI, como já tinha acontecido na tempestade 1,2 e 3. Os valores mais elevados ocorrem nas horas de preia-mar e os menores valores ocorrem nas horas de baixa-mar, devido à variação do nível de maré.

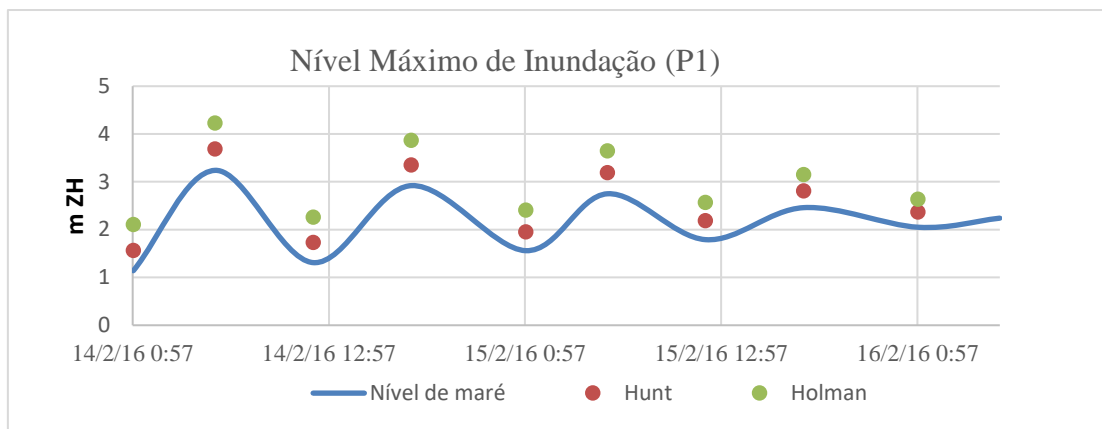


Figura 5.13 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Hunt (1959) e Holman (1986) para a tempestade 4.

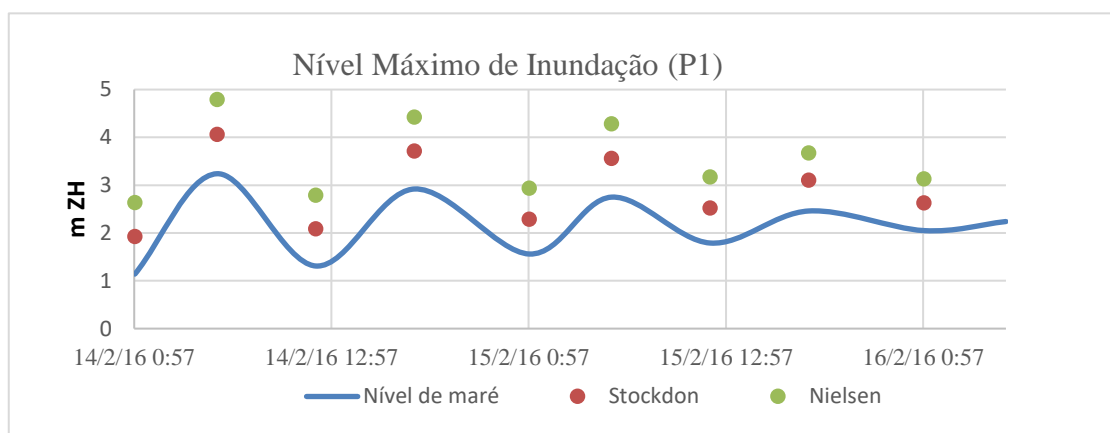


Figura 5.14 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Stockdon et al (2006) e Nielsen e Hanslow (1991) para a tempestade 4.

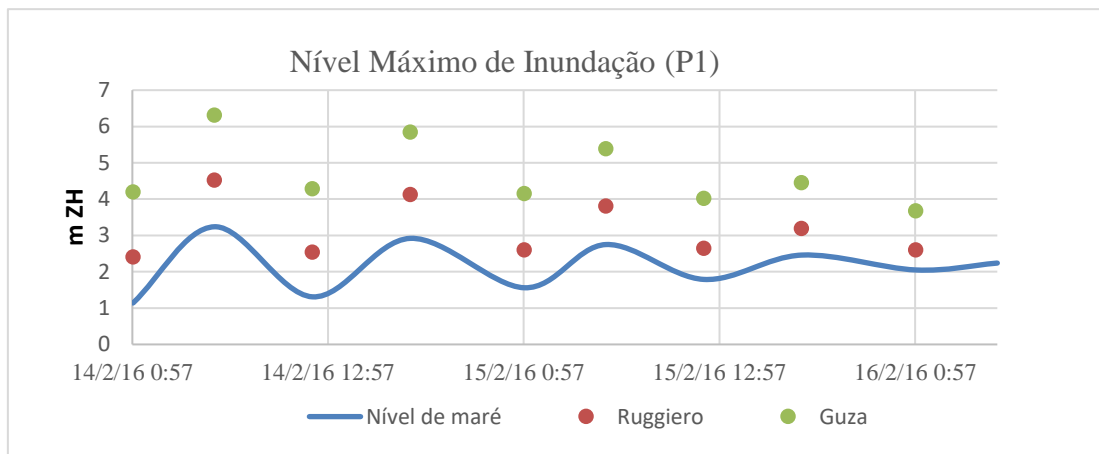


Figura 5.15 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Ruggiero et al (2001) e Guza e Thornton (1982) para a tempestade 4.

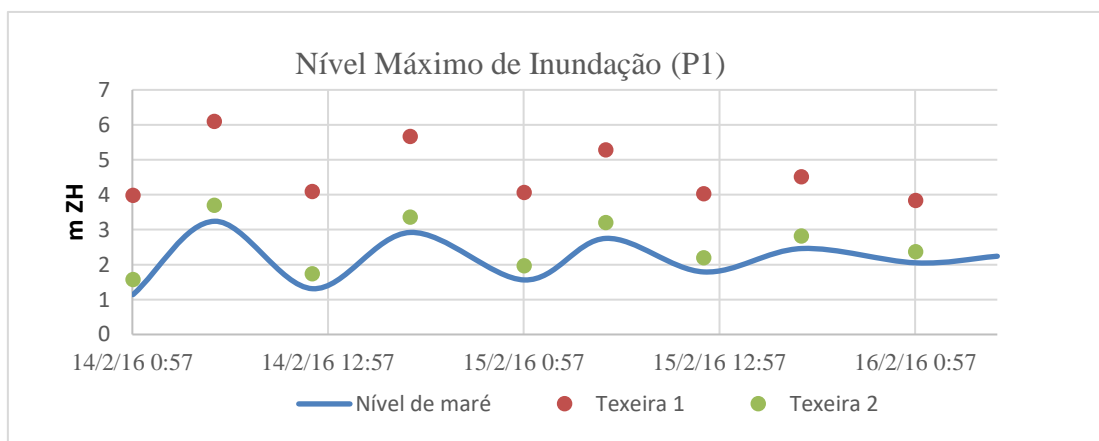


Figura 5.16 -Comparação do Nível Máximo de Inundação obtido a partir da metodologia de Teixeira (2009) para a tempestade 4.

A Tabela 5.4 apresenta a compilação dos valores mais importantes para análise, possibilitando a comparação dos resultados obtidos.

Tabela 5.4 -Valores extremos e média do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinados através das metodologias das diferentes formulações empíricas para a tempestade 4.

Autores	Mínimo (m ZH)	Máximo (m ZH)	Média (m ZH)
<i>Hunt (1959)</i>	1.565	3.684	2.539
<i>Holman (1986)</i>	2.106	4.227	2.967
<i>Stockdon et al. (2006)</i>	1.923	4.059	2.870
<i>Nielsen e Hanslow (1991)</i>	2.637	4.793	3.515
<i>Ruggiero et al. (2001)</i>	2.411	4.522	3.122
<i>Guza e Thornton (1982)</i>	3.679	6.316	4.614
<i>Teixeira 1 (2009)</i>	3.838	6.101	4.557
<i>Teixeira 2 (2009)</i>	1.575	3.695	2.548

Observa-se que o intervalo dos resultados obtidos para o NMI, durante a tempestade 4, varia entre 3.684 m ZH e 6.316 m ZH, sendo o valor mais elevado o de Guza e Thornton (1982).

Em relação aos valores médios, a variação é menor entre as diferentes formulações, apresentado valores entre 2.539 m ZH e 4.614 m ZH, este último associado a metodologia de Guza e Thornton (1982).

O valor máximo obtido, para a tempestade 4, é de 6.316 m.

5.1.2 Análise dos valores estimados de galgamento

Os resultados analisados neste subcapítulo referem-se somente à Praia do CDS (P4), na metodologia Mase et al. (2013). O caudal médio galgado é calculado através do runup. O runup pode corresponder a dois valores distintos ao valor não excedido de 37%, neste caso em ensaios de 100 ondas ($R_{\text{máx.37\%,100\%}}$), assumindo a distribuição de Rayleigh, ou ao valor não exercido em 99% dos casos ($R_{\text{máx.99\%,100\%}}$). Neste caso, os resultados apresentados neste capítulo serão os mais graves o ($R_{\text{máx.99\%,100\%}}$) uma vez que o mesmo é composto pelo maior runup (1%) dos 100 ensaios, ou seja, aquele que provocará um caudal médio maior galgado, remetendo-se para o Anexo C os restantes resultados juntamente com as restantes praias.

5.1.2.1 Tempestade 1

Na figura 5.17 apresenta-se o runup e na Figura 5.18 o caudal médio galgado para a tempestade 1.

Podemos observar que o runup é maioritariamente mais elevado do que o nível de maré exceto um caso, sendo que o maior valor 4.3 m ocorrido à 1 hora do dia 3 de janeiro de 2014, e o menor 3.2 ocorrido à 1 hora do dia 5 de janeiro de 2014.

Em relação ao caudal médio galgado não observamos quais os valores superiores a 0 (l/s/m), mas sendo que os valores são a média de intervalos de 6 horas, não é possível avaliar se os mesmos são inferiores a 0 (l/s/m) em todo o temporal.

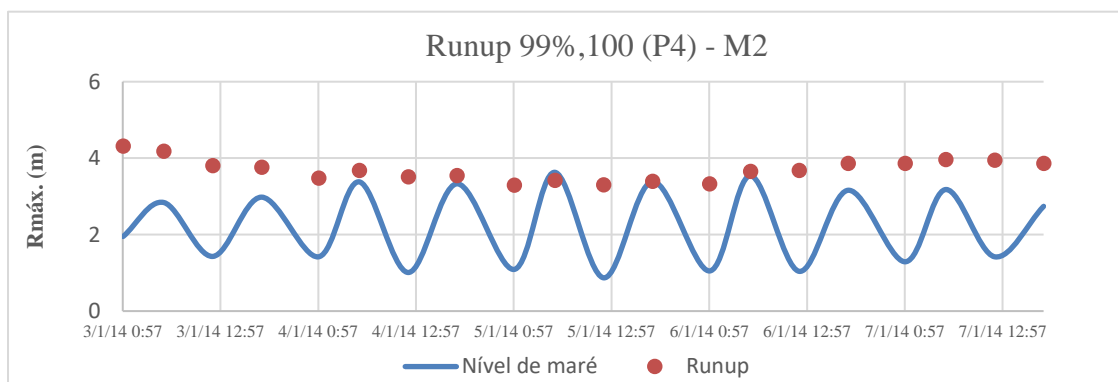


Figura 5.17 -Runup na Secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 1.

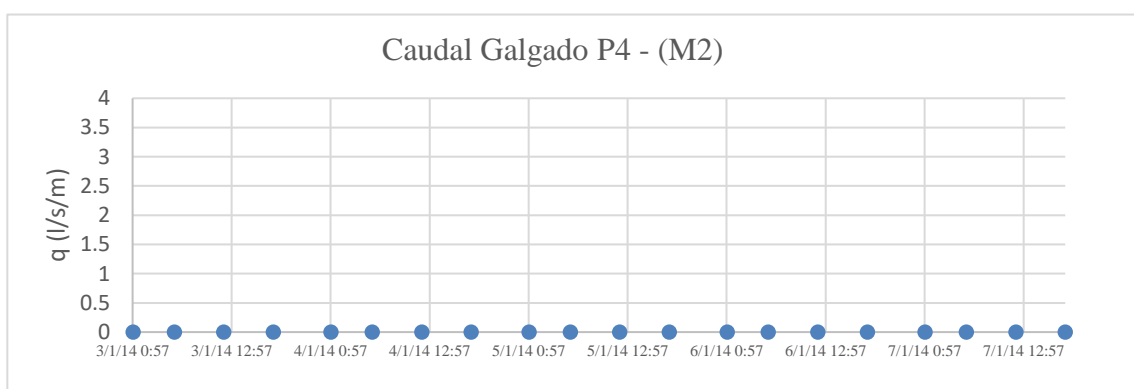


Figura 5.18 - Caudal médio galgado na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para tempestade 1.

5.1.2.2 Tempestade 2

Na figura 5.19 apresenta-se o runup e na Figura 5.20 o caudal médio galgado para a tempestade 2.

Podemos observar que o runup é elevado no período de tempestade, variando em concordância com o nível de maré, sendo que o maior valor 7.9 m ocorrido à 1 hora de 9 de fevereiro de 2014, e o menor valor 4.8, ocorrido às 18 horas de dia 10 de fevereiro de 2014.

Em relação ao caudal médio galgado, existe uma variação entre o 0.1 e 0.2 (l/s/m), em que o maior valor corresponde ao runup mais elevado, visto que os valores são a média de intervalos de 6 horas não podendo avaliar, se os mesmos foram suficientemente elevados para causar estragos.

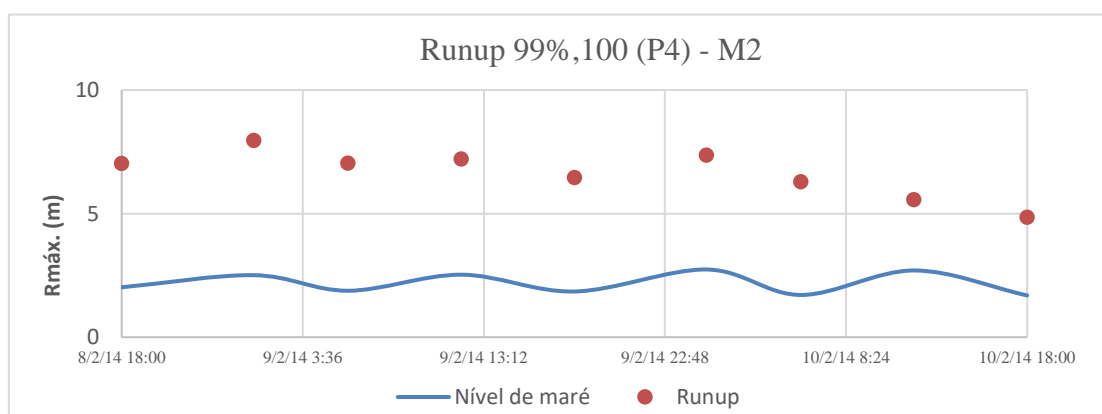


Figura 5.19 - Runup na Secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 2.

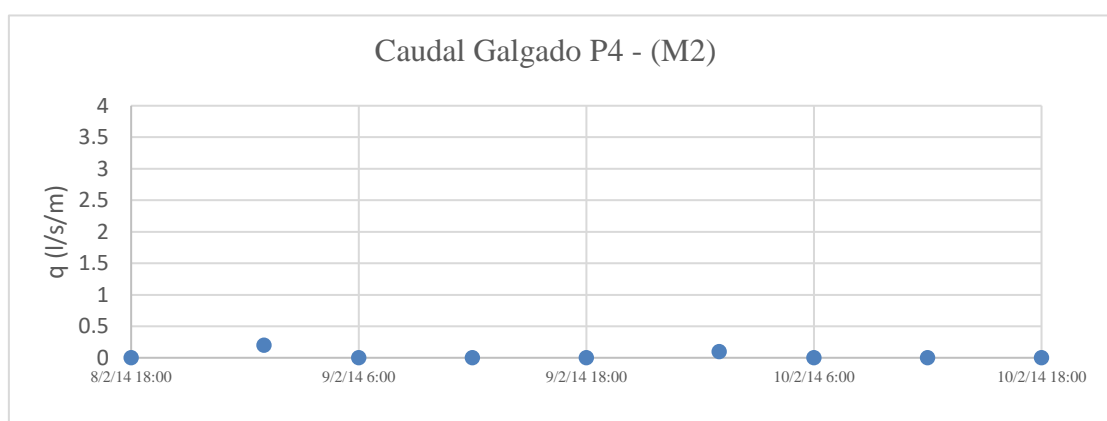


Figura 5.20 -Caudal médio galgado na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para tempestade 2.

5.1.2.3 Tempestade 3

Na figura 5.21 apresenta-se o runup e na Figura 5.22 o caudal médio galgado para a tempestade 3.

Podemos observar que o runup é elevado no período de tempestade, variando em concordância com o nível de maré, sendo que o maior valor 5.03 m ocorrido às 18 horas do dia 24 de fevereiro de 2015, e o menor valor 2.5 ocorrido à 1 hora do dia 24 de fevereiro de 2015. Em relação ao caudal médio galgado não observamos quais os valores superiores a 0 (l/s/m), mas sendo que os valores são a média de intervalos de 6 horas, não é possível avaliar se os mesmos são inferiores a 0 (l/s/m) em todo o temporal.

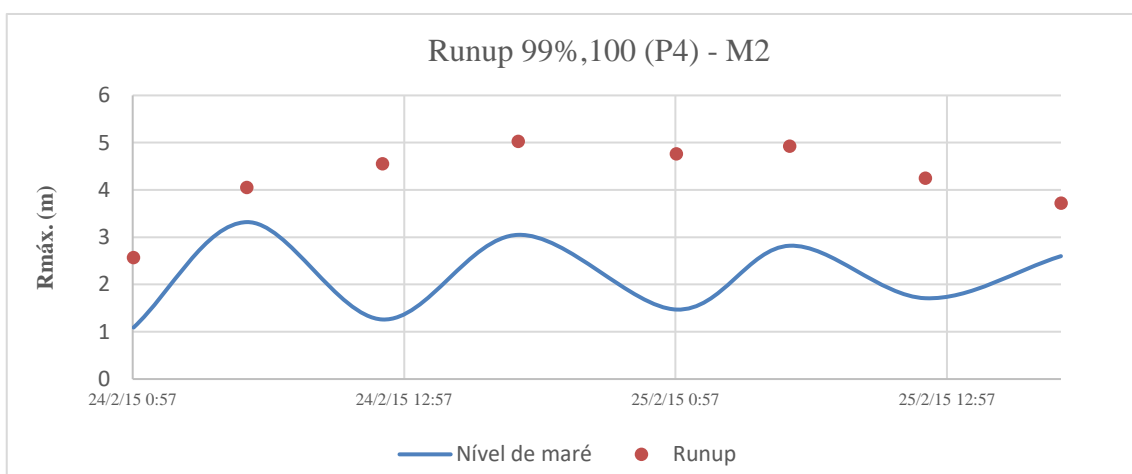


Figura 5.21 -Runup na Secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 3.

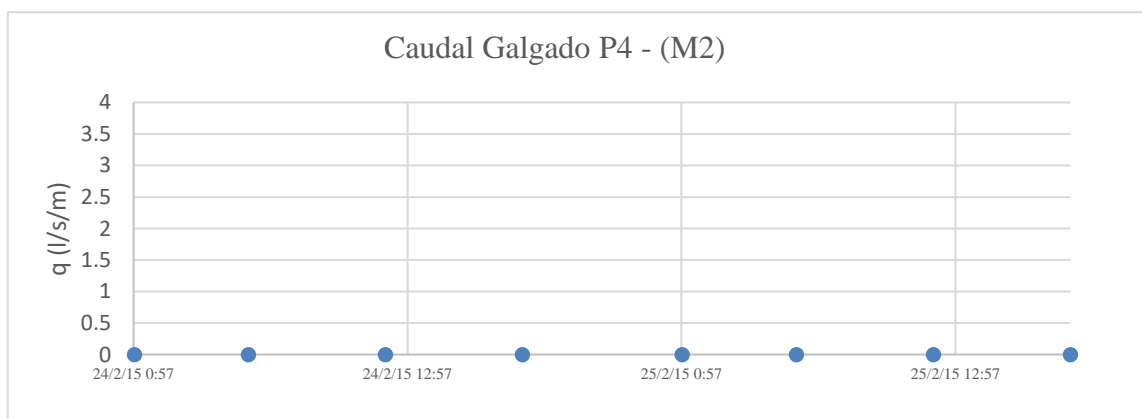


Figura 5.22 -Caudal médio galgado na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para tempestade 3.

5.1.2.4 Tempestade 4

Na figura 5.23 apresenta-se o runup e na Figura 5.24 o caudal médio galgado para a tempestade 4.

Podemos observar que o runup é elevado no período de tempestade, variando em concordância com o nível de maré, sendo que o maior valor 4.8 ocorrido à 1 hora do dia 14 de fevereiro de 2016, e o menor valor 2.83 ocorrido às 6 horas de dia 16 de fevereiro de 2016. Em relação ao caudal médio galgado não se observando quais os valores superiores a 0 (l/s/m), mas sendo que os valores são a média de intervalos de 6 horas, não é possível avaliar se os mesmos são inferiores a 0 (l/s/m) em todo o temporal.

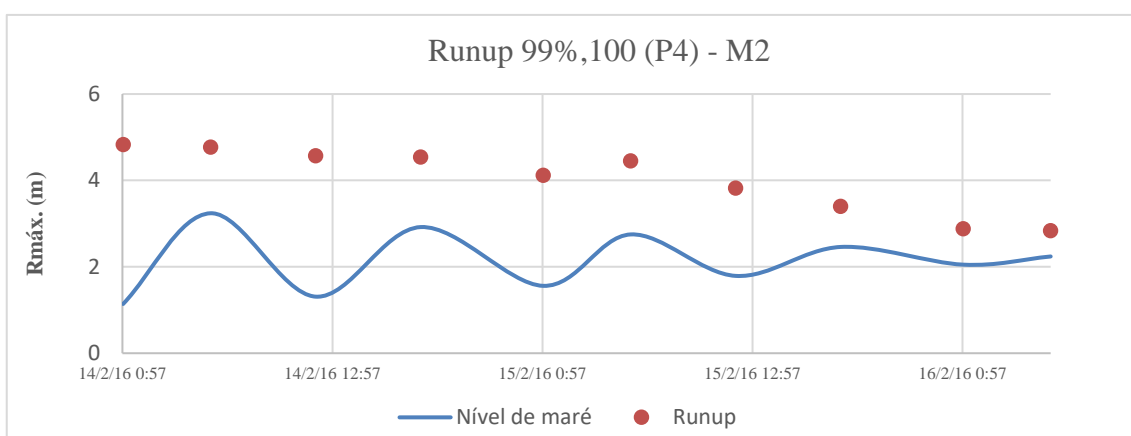


Figura 5.23 -Runup na Secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 4.

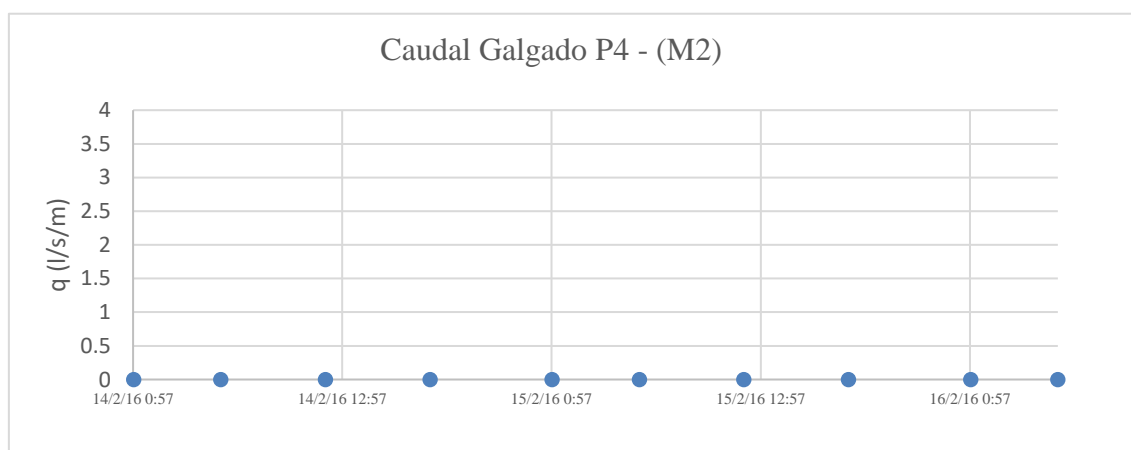


Figura 5.24 -Caudal médio galgado na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para tempestade 4.

5.2 Modelo XBEACH

Neste subcapítulo são apresentados e analisados os resultados numéricos provenientes obtidos através do modelo XBEACH. Os resultados correspondem ao valor de NMI e do caudal considerando as tempestades 1,2,3 e 4.

5.2.1 Análise dos valores estimados de NMI

Os resultados apresentados referem-se somente à Praia de S. João da Caparica (P1).

5.2.1.1 Tempestade 1

Na Figura 5.25 apresenta-se os valores de NMI obtidos através do modelo numérico XBEACH.

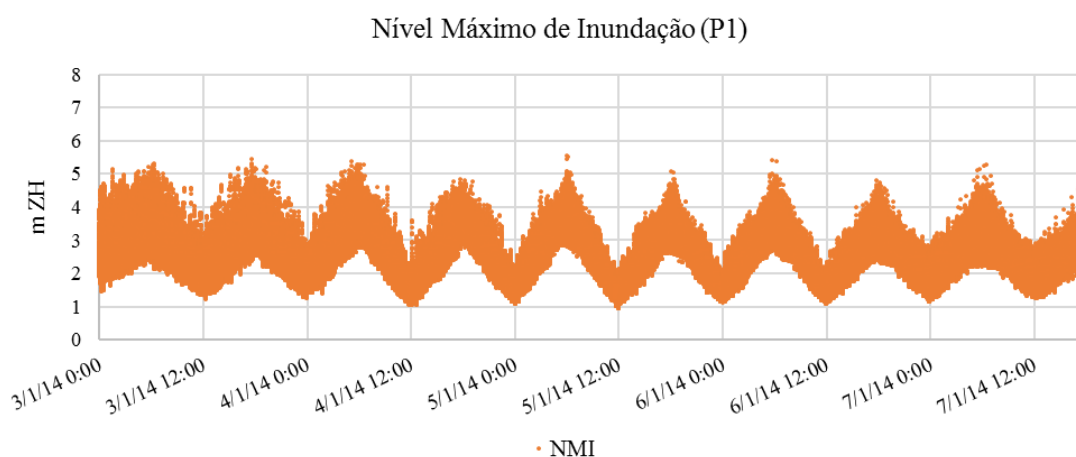


Figura 5.25 – Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 1.

Observando a Figura 5.25 pode-se afirmar que os valores estimados de NMI acompanham a variação dos períodos de baixa e preia-mar, ao longo dos dias de tempestade, onde o menor valor de NMI faz-se sentir nas horas de baixa-mar e o valor máximo de NMI faz-se sentir nas horas de preia-mar.

Na Tabela 5.5 pode-se observar os valores extremos de NMI, bem como a média dos valores calculados durante a mesma tempestade.

Tabela 5.5 -Valores extremos do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 1.

	Mínimo (m ZH)	Máximo (m ZH)	Média (m ZH)
NMI	0.949	5.529	2.566

Podemos ver que o valor máximo obtido, para a tempestade 1, não ultrapassa a cota máxima registada nas dunas, cerca de 5.707.

5.2.1.2 Tempestade 2

Na Figura 5.26 apresenta-se os valores de NMI obtidos através do modelo numérico XBEACH.

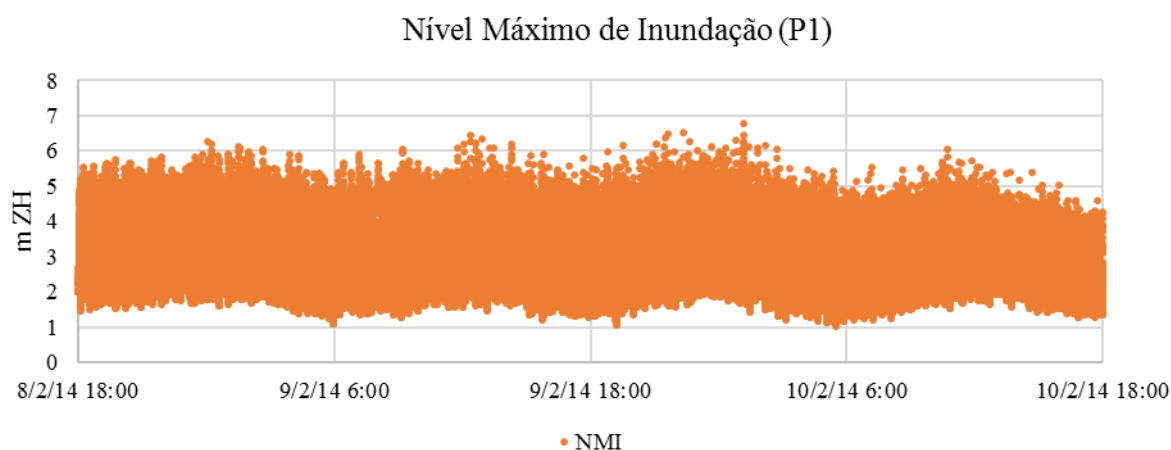


Figura 5.26 -Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 2.

Através da análise do gráfico da Figura 5.26 é possível dizer-se que o NMI variou significativamente, ao longo destes dois dias da tempestade, como era esperado.

O valor mínimo de NMI fez-se sentir nas horas de baixa-mar e o valor máximo foi registado nas horas de preia-mar.

Na Tabela 5.6 pode-se observar os valores extremos de NMI, bem como a média.

Tabela 5.6 -Valores extremos do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 2.

	Mínimo (m ZH)	Máximo (m ZH)	Média (m ZH)
NMI	1.043	6.780	3.026

Podemos ver que o valor máximo obtido, para a tempestade 2, não ultrapassa a cota máxima registada nas dunas, cerca de 7.359.

5.2.1.3 Tempestade 3

Na Figura 5.27 apresenta-se os valores de NMI obtidos através do modelo numérico XBEACH.

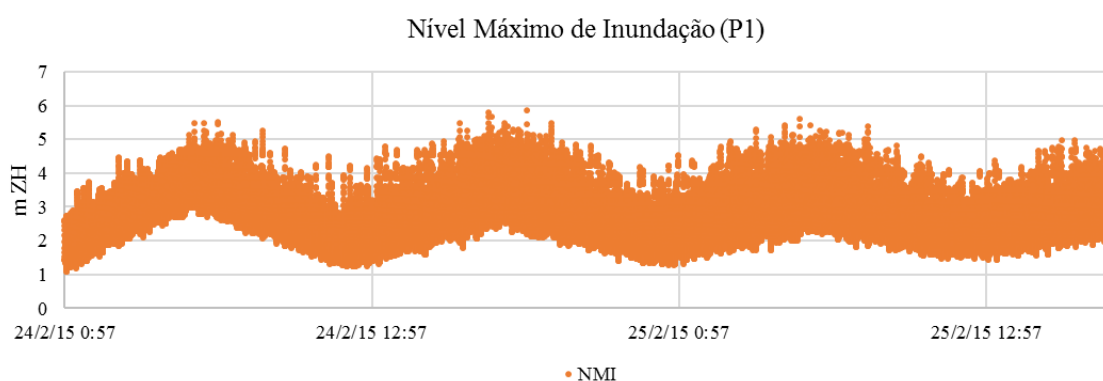


Figura 5.27 - Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 3.

Através da análise do gráfico da Figura 5.27 é possível dizer-se que o NMI variou significativamente, ao longo destes dois dias da tempestade, como era esperado. O valor mínimo de NMI fez-se sentir nas horas de baixa-mar e o valor máximo foi registado nas horas de preia-mar.

Na Tabela 5.7 pode-se observar os valores extremos de NMI, bem como a média.

Tabela 5.7 -Valores extremos do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 3.

	Mínimo (m ZH)	Máximo (m ZH)	Média (m ZH)
NMI	0.702	6.765	2.705

Podemos ver que o valor máximo obtido, para a tempestade 3, ultrapassa ligeiramente a cota máxima registada nas dunas, cerca de 5.776

5.2.1.4 Tempestade 4

Na Figura 5.28 apresenta-se os valores de NMI obtidos através do modelo numérico XBEACH.

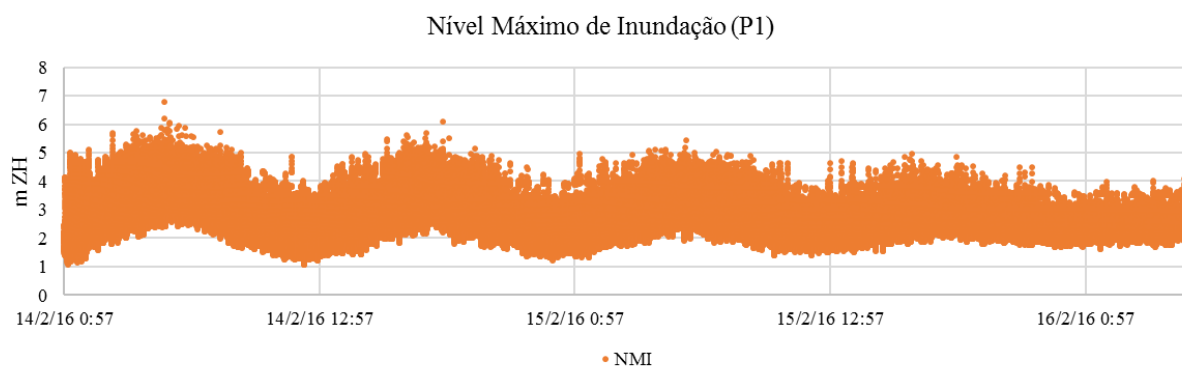


Figura 5.28 -Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 4.

Através da análise do gráfico da Figura 5.28 é possível dizer-se que o NMI variou significativamente, ao longo destes dois dias da tempestade, como era esperado. O valor mínimo de NMI fez-se sentir nas horas de baixa-mar e o valor máximo foi registado nas horas de preia-mar.

Na Tabela 5.8 pode-se observar os valores extremos de NMI, bem como a média

Tabela 5.8 -Valores extremos do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinado através da metodologia do XBEACH para tempestade 4.

	Mínimo (m ZH)	Máximo (m ZH)	Média (m ZH)
NMI	0.890	5.868	2.733

Podemos ver que o valor máximo obtido, para a tempestade 4, ultrapassa ligeiramente a cota máxima registada nas dunas, cerca de 6.316.

5.2.2 Análise dos valores estimados de galgamento

Este subcapítulo refere-se aos resultados relativos às praias do Norte (P2), de Santo António da Caparica (P3), do CDS (P4), do Tarquínio/Paraíso (P5), do Dragão Vermelho (P6) e Nova Praia (P7). Apenas serão apresentados os resultados referentes à praia do CDS, enquanto que os restantes se encontram no Anexo E.

5.2.2.1. Tempestade 1

Na Figura 5.29 apresenta-se os valores de caudal galgado obtidos através do modelo numérico XBEACH.

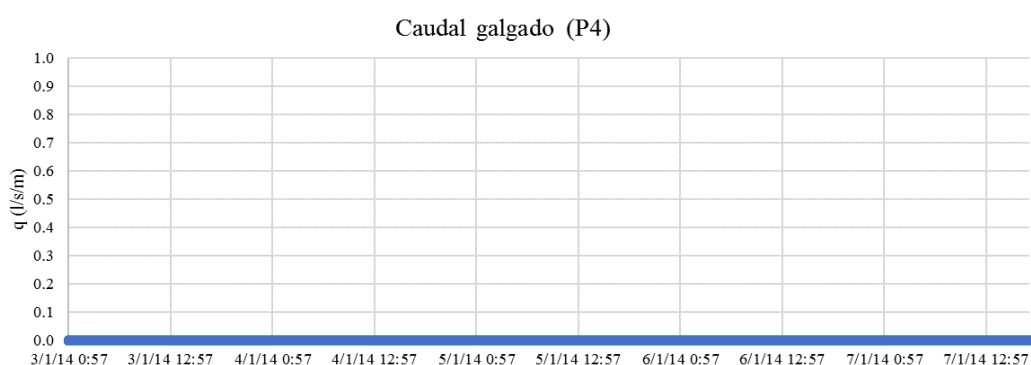


Figura 5.29 - Caudal instantâneo galgado na secção P4, determinado através da metodologia do XBECH para a tempestade 1.

A Figura 5.29 permite analisar o caudal instantâneo galgado, não tendo este excedido nenhum valor acima do 0 l/s/m.

Tabela 5.9 -Valores externos e média do caudal instantâneo galgado na secção P4, determinados através da metodologia do XBEACH para a tempestade 1.

	Mínimo (l/s/m)	Máximo (l/s/m)	Média (l/s/m)
Caudal galgado	0.000	0.000	0.000

5.2.2.2. Tempestade 2

Na Figura 5.30 apresenta-se os valores de caudal galgado obtidos através do modelo numérico XBEACH.

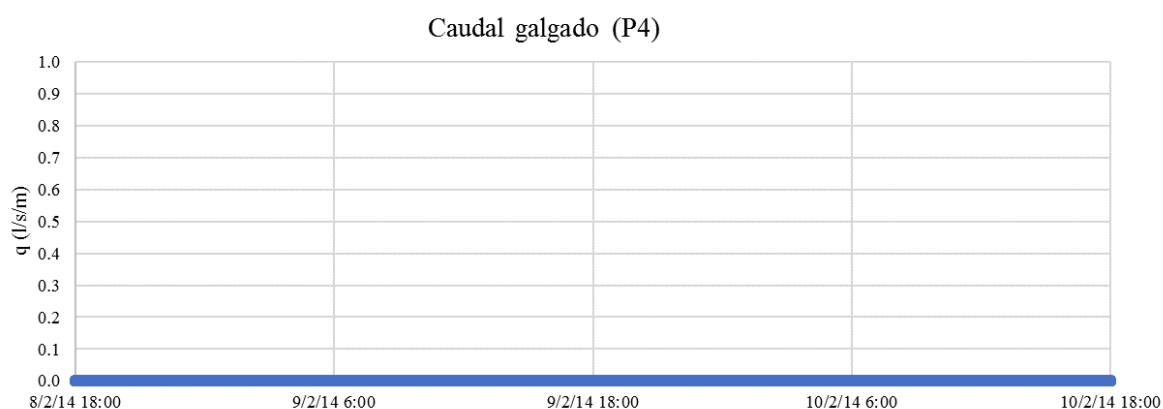


Figura 5.30 -Caudal instantâneo galgado na secção P4, determinado através da metodologia do XBECH para a tempestade 2.

A Figura 5.30 permite analisar o caudal instantâneo galgado, não tendo este excedido nenhum valor acima do 0 l/s/m.

Tabela 5.10 -Valores externos e média do caudal instantâneo galgado na secção P4, determinados através da metodologia do XBEACH para a tempestade 2.

	Mínimo (l/s/m)	Máximo (l/s/m)	Média (l/s/m)
Caudal galgado	0.000	0.000	0.000

5.2.2.3. Tempestade 3

Na Figura 5.31 apresenta-se os valores de caudal galgado obtidos através do modelo numérico XBEACH.

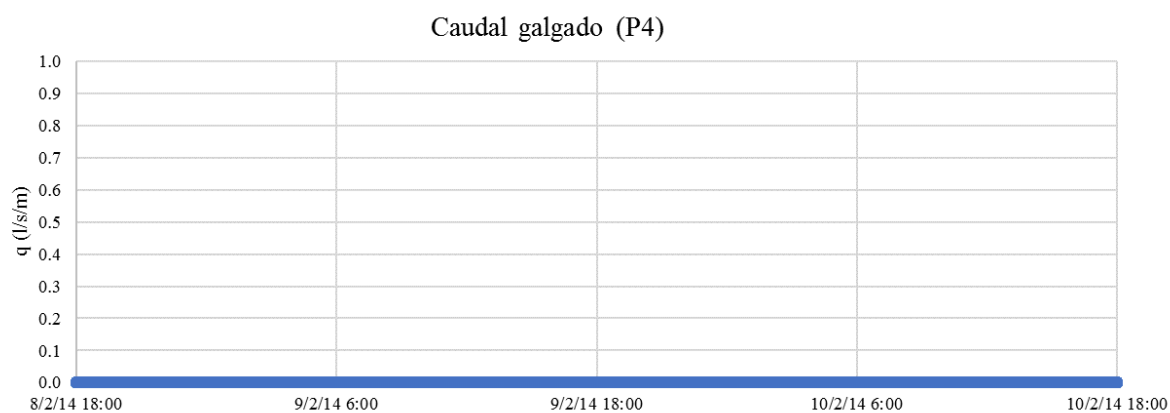


Figura 5.31 - Caudal instantâneo galgado na secção P4, determinado através da metodologia do XBECH para a tempestade 3.

A Figura 5.31 permite analisar o caudal instantâneo galgado, não tendo este excedido nenhum valor acima do 0 l/s/m.

Tabela 5.11 -Valores externos e média do caudal instantâneo galgado na secção P4, determinados através da metodologia do XBEACH para a tempestade 1.

	Mínimo (l/s/m)	Máximo (l/s/m)	Média (l/s/m)
Caudal galgado	0.000	0.000	0.000

5.2.2.4 Tempestade 4

Na Figura 5.32 apresenta-se os valores de caudal galgado obtidos através do modelo numérico XBEACH.

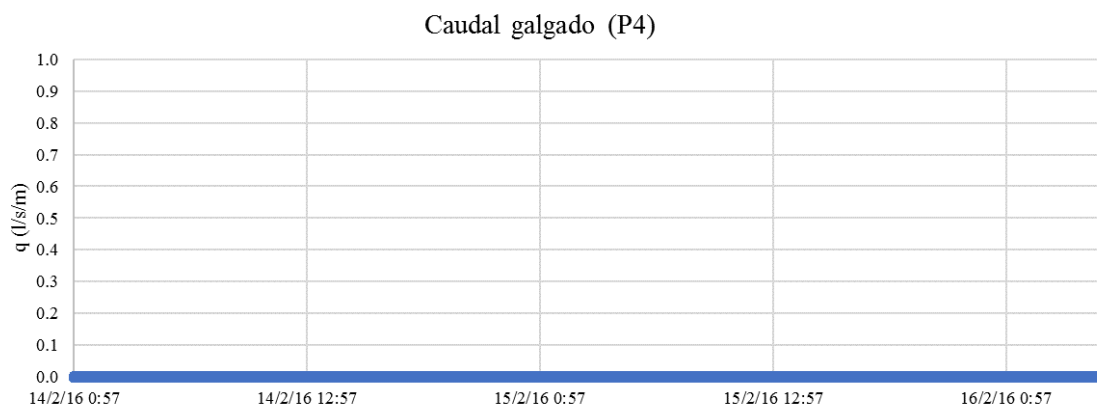


Figura 5.32 - Caudal instantâneo galgado na secção P4, determinado através da metodologia do XBECH para a tempestade 4.

A Figura 5.32 permite analisar o caudal instantâneo galgado, não tendo este excedido nenhum valor acima do 0 l/s/m.

Tabela 5.12 -Valores externos e média do caudal instantâneo galgado na secção P4, determinados através da metodologia do XBEACH para a tempestade 1.

	Mínimo (l/s/m)	Máximo (l/s/m)	Média (l/s/m)
Caudal galgado	0.000	0.000	0.000

5.3 Comparações

5.3.1 Comparações dos valores estimados de NMI

5.3.1.1 Tempestade 1 e 2

Na Tabela seguinte apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios de NMI obtido através das metodologias descritas, para a tempestades apresentadas nesta dissertação.

Tabela 5.13 -Valores externos e média do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinados através das metodologias das diferentes formulações empíricas e do modelo XBEACH, para as tempestades 1 e 2.

Tempestade	Metodologia	Mínimo (m ZH)	Máximo (m ZH)	Média (m ZH)
3-7 de janeiro de 2014	<i>XBEACH</i>	0.949	5.529	2.566
	<i>Hunt (1959)</i>	1.181	3.961	2.579
	<i>Holman (1986)</i>	1.520	4.309	2.960
	<i>Stockdon et al. (2006)</i>	1.443	4.242	2.868
	<i>Nielsen e Hanslow (1991)</i>	1.950	4.775	3.424
	<i>Ruggiero et al. (2001)</i>	1.592	4.380	3.076
	<i>Guza e Thornton (1982)</i>	2.833	5.688	4.432
	<i>Teixeira 1 (2009)</i>	2.906	5.707	4.445
	<i>Teixeira 2 (2009)</i>	1.188	3.970	2.587
8-10 de fevereiro de 2014	<i>XBEACH</i>	1.043	6.780	3.026
	<i>Hunt (1959)</i>	2.141	3.327	2.733
	<i>Holman (1986)</i>	2.643	4.163	3.443
	<i>Stockdon et al. (2006)</i>	2.521	3.821	3.197
	<i>Nielsen e Hanslow (1991)</i>	3.272	4.865	4.139
	<i>Ruggiero et al. (2001)</i>	2.872	4.808	3.920
	<i>Guza e Thornton (1982)</i>	4.567	7.379	6.167
	<i>Teixeira 1 (2009)</i>	4.403	6.759	5.716
	<i>Teixeira 2 (2009)</i>	2.151	3.340	2.745

Analisando os resultados obtidos através das fórmulas empíricas e o modelo XBEACH, existe uma concordância razoável entres os valores das duas tempestades. Os valores máximos e a média encontram-se de acordo com os valores obtidos através das fórmulas empíricas. Já os valores mínimos encontram-se um pouco desnivelados em relação aos valores das fórmulas, sendo que pode ser justificado tendo as metodologias abordagens diferentes.

A grande diferença nestas abordagens é que o modelo XBEACH faz registos, a cada segundo, da variação do espraçamento, medido através de uma sonda colocada no perfil da praia, as fórmulas empíricas fazem, a cada 6 horas, estimativas do valor de NMI.

Estas estimativas referem-se aos valores de NMI, ou seja, à cota máxima possível a ser alcançada para uma determinada condição de agitação marítima. Sendo assim era esperado que os valores mínimos de NMI fossem menores para os resultados obtidos através do modelo XBEACH.

Em termos de valores máximos, as formulações realizadas por Guza e Thornton (1982) e Teixeira 1 (2009) são aquelas que mais se aproximam dos valores obtidos através do XBEACH, enquanto que para os valores médios são as formulações de Hunt (1959) e de Teixeira 2 (2009).

5.3.1.2 Tempestade 3 e 4

Tabela 5.14 – Valores externos e média do Nível Máximo de Inundação na secção P1, determinados através das metodologias das diferentes formulações empíricas e do modelo XBEACH, para as tempestades 3 e 4.

Tempestade	Metodologia	Mínimo (m ZH)	Máximo (m ZH)	Média (m ZH)
24-25 de fevereiro de 2015	<i>XBEACH</i>	0.702	6.765	2.705
	<i>Hunt (1959)</i>	1.384	3.731	2.589
	<i>Holman (1986)</i>	1.629	4.112	2.981
	<i>Stockdon et al. (2006)</i>	1.630	4.076	2.945
	<i>Nielsen e Hanslow (1991)</i>	2.103	4.749	3.641
	<i>Ruggiero et al. (2001)</i>	1.572	4.186	3.062
	<i>Guza e Thornton (1982)</i>	2.577	5.776	4.477
	<i>Teixeira 1 (2009)</i>	2.773	5.651	4.459
	<i>Teixeira 2 (2009)</i>	1.390	3.740	2.598
14-16 de fevereiro de 2016	<i>XBEACH</i>	0.890	5.868	2.733
	<i>Hunt (1959)</i>	1.565	3.684	2.539
	<i>Holman (1986)</i>	2.106	4.227	2.967
	<i>Stockdon et al. (2006)</i>	1.923	4.059	2.870
	<i>Nielsen e Hanslow (1991)</i>	2.637	4.793	3.515
	<i>Ruggiero et al. (2001)</i>	2.411	4.522	3.122
	<i>Guza e Thornton (1982)</i>	3.679	6.316	4.614
	<i>Teixeira 1 (2009)</i>	3.838	6.101	4.557
	<i>Teixeira 2 (2009)</i>	1.575	3.695	2.548

Analisando os resultados obtidos através das fórmulas empíricas e o modelo XBEACH, observa-se que os valores das tempestades 3 e 4 tem uma menor concordância que as tempestades 1 e 2. Na tempestade 3 observa-se que só os valores de média se encontram em concordância, sendo que os valores mínimos e máximos se encontram um bocado desnivelados em relação às fórmulas empíricas. Em relação à tempestade 4 observa-se que os valores máximos e médios se encontram na gama dos valores das fórmulas, e só os valores mínimos se encontram abaixo dos valores das fórmulas, sendo isto justificado pelas abordagens diferentes que cada metodologia aplica, como já foi justificado anteriormente.

Em termos de valores máximos, as formulações realizadas por Guza e Thornton (1982) e Teixeira 1 (2009) são aquelas que mais se aproximam dos valores obtidos através do XBEACH, enquanto que para os valores médios são as formulações de Hunt (1959) e de Teixeira 2 (2009).

5.3.2 Comparações dos valores estimados de galgamento

Nas Tabelas seguintes, apresentam-se os valores do caudal médio galgado obtido através das metodologias descritas, para as tempestades, de modo a fazer-se uma comparação entre as metodologias para os valores obtidos através do XBEACH. Calculou-se a média de 6 em 6 horas. Analisando os resultados obtidos para o caudal galgado regista-se uma boa concordância entre os valores, uma vez que os valores das formulações empíricas são praticamente iguais aos valores do modelo XBEACH.

As formulações empíricas e o modelo XEBACH são metodologias baseadas na quantidade de água, volume que transpõe o coroamento num determinado intervalo de tempo, neste caso 6 horas, sendo que o volume de água é influenciado pela altura de água que transpõe o coroamento.

Essa altura de água nas formulações empíricas é estimada a partir do espraçamento, enquanto que no modelo XBEACH é estimada a partir da superfície livre de água.

Tabela 5.14 -Comparação dos valores médios, a cada 6 horas, na secção P4, determinados através das metodologias das formulações empíricas e do modelo numérico, com as respetivas datas e horas em que ocorrem, para a tempestade 1.

Tempestade	Ano	Mês	Dia	Hora	Mase (l/s/m)		XBEACH (l/s/m)
					M1	M2	
3-7 de janeiro de 2014	2014	1	3	0	0	0	0
	2014	1	3	6	0	0	0
	2014	1	3	12	0	0	0
	2014	1	3	18	0	0	0
	2014	1	4	0	0	0	0
	2014	1	4	6	0	0	0
	2014	1	4	12	0	0	0
	2014	1	4	18	0	0	0
	2014	1	5	0	0	0	0
	2014	1	5	6	0	0	0
	2014	1	5	12	0	0	0
	2014	1	5	18	0	0	0
	2014	1	6	0	0	0	0
	2014	1	6	6	0	0	0
	2014	1	6	12	0	0	0
	2014	1	6	18	0	0	0
	2014	1	7	0	0	0	0
	2014	1	7	6	0	0	0
	2014	1	7	12	0	0	0
	2014	1	7	18	0	0	0

Tabela 5.15 -Comparação dos valores médios, a cada 6 horas, na secção P4, determinados através das metodologias das formulações empíricas e do modelo numérico, com as respetivas datas e horas em que ocorrem, para a tempestade 2.

Tempestade	Ano	Mês	Dia	Hora	Mase (l/s/m)		XBEACH (l/s/m)
					M1	M2	
8-10 de fevereiro de 2014	2014	2	8	18	0	0	0
	2014	2	9	0	0	0.2	0
	2014	2	9	6	0	0	0
	2014	2	9	12	0	0	0
	2014	2	9	18	0	0	0
	2014	2	10	0	0	0.1	0
	2014	2	10	6	0	0	0
	2014	2	10	12	0	0	0
	2014	2	10	18	0	0	0

Tabela 5.16 -Comparação dos valores médios, a cada 6 horas, na secção P4, determinados através das metodologias das formulações empíricas e do modelo numérico, com as respetivas datas e horas em que ocorrem, para a tempestade 3.

Tempestade	Ano	Mês	Dia	Hora	Mase (l/s/m)		XBEACH (l/s/m)
					M1	M2	
24-25 de fevereiro de 2015	2015	2	24	0	0	0	0
	2015	2	24	6	0	0	0
	2015	2	24	12	0	0	0
	2015	2	24	18	0	0	0
	2015	2	25	0	0	0	0
	2015	2	25	6	0	0	0
	2015	2	25	12	0	0	0
	2015	2	25	18	0	0	0

Tabela 5.17 -Comparação dos valores médios, a cada 6 horas, na secção P4, determinados através das metodologias das formulações empíricas e do modelo numérico, com as respetivas datas e horas em que ocorrem, para a tempestade 4.

Tempestade	Ano	Mês	Dia	Hora	Mase (l/s/m)		XBEACH (l/s/m)
					M1	M2	
14-16 de fevereiro de 2016	2016	2	14	0	0	0	0
	2016	2	14	6	0	0	0
	2016	2	14	12	0	0	0
	2016	2	14	18	0	0	0
	2016	2	15	0	0	0	0
	2016	2	15	6	0	0	0
	2016	2	15	12	0	0	0
	2016	2	15	18	0	0	0
	2016	2	16	0	0	0	0
	2016	2	16	6	0	0	0

Observando as Tabelas e como dito anteriormente, vemos que existe uma boa concordância entre os valores das formulações empíricas e do modelo XBEACH, visto que todos os valores praticamente são de 0 l/s/m querendo dizer que não se regista qualquer ocorrência de galgamento no período de estudo, a única exceção encontra-se na tempestade 2. Verifica-se que existe valores

de 0.1 e 0.2 l/s/m sendo que, na minha opinião, creio que não são suficientes para se considerar fenómenos de galgamento.

Num aspeto geral é interessante avaliar-se o caudal galgado através do modelo XBEACH, uma vez que os valores médios, provenientes das formulações empíricas, não fornecem informações pormenorizadas. Neste caso o caudal galgado não traduz o número de ondas que galgam nem o volume correspondente a cada galgamento, a média pode resultar de realidades diversas, uma vez que uma pequena quantidade de ondas pode introduzir grandes volumes e as restantes serem responsáveis por galgamentos pouco significativos.

5.4 Avaliação de Risco

Neste subcapítulo será feita uma avaliação de risco de inundação e de galgamento, recorrendo as metodologias anteriormente apresentadas (fórmulas empíricas e modelo numérico XBEACH), considerando as condições marítimas que caracterizam as tempestades 1,2,3 e 4 apresentadas anteriormente.

5.4.1 Avaliação de Risco Máximo de Inundação

Nesta dissertação, considerando que existe praias com e sem estrutura de proteção, foi realizada uma avaliação de risco máximo de inundação. Para este mesmo risco considera-se que a cota de inundação máxima da praia de São João da Caparica é de 5.1 m, ocorrendo inundação se a cota for superior a este valor (Neves,2013).

5.3.1.1 Tempestade 1

Nas Figuras 5.33 e 5.34 apresenta-se a avaliação de risco de inundação para as metodologias apresentadas anteriormente (fórmulas empíricas e modelo XBEACH).

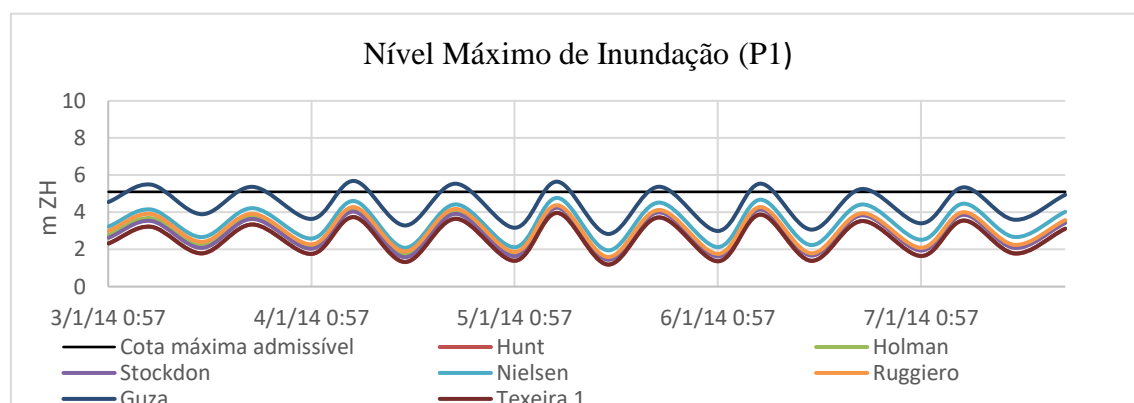


Figura 5.33 -Avaliação de risco de inundação através das fórmulas empíricas com todos os autores para a tempestade 1.

Observando a Figura 5.33 verifica-se que existem alguns valores acima da cota máxima de inundação, calculando-se uma probabilidade de ocorrência de 5.6 %. Segundo a Tabela 2.7, a esta percentagem associa-se um grau de 2 de probabilidade de ocorrência, isto é, classifica-se como Raro. Quanto às consequências da inundação, segundo a Tabela 2.11, atribui-se um grau 5 de consequência, pois o local possui estruturas para atividades económicas relevantes (bares e apoios de praia), características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis, de reduzida resistência à degradação (solo arenoso) e áreas ocupadas por habitats com algum interesse ecológicos (dunas).

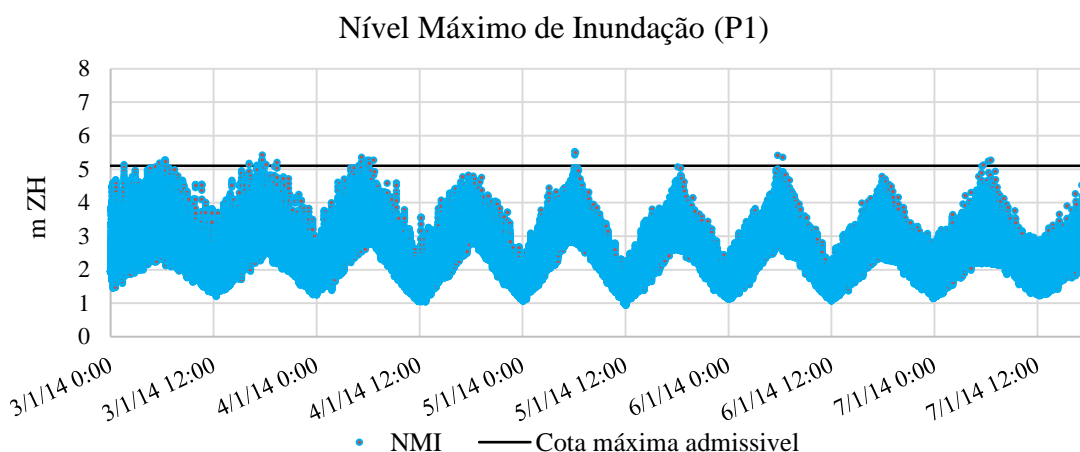


Figura 5.34 - Avaliação de risco de inundação através do modelo numérico XBEACH para a tempestade 1.

Observando a Figura 5.34 verifica-se que existem alguns valores acima da cota máxima de inundação, calculou-se uma probabilidade de ocorrência de 0.009 %. Segundo a Tabela 2.7, a esta percentagem associa-se um grau de 1 de probabilidade de ocorrência, isto é, classifica-se como improvável. Quanto às consequências da inundação, segundo a Tabela 2.11, atribui-se um grau 5 de consequência, pois o local possui estruturas para atividades económicas relevantes (bares e apoios de praia,) características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis, de reduzida resistência à degradação (solo arenoso) e áreas ocupadas por habitats com algum interesse ecológico (dunas). Posteriormente o risco de inundação é calculado pela multiplicação do grau de ocorrência com o grau de consequências, em relação às fórmulas empíricas o seu grau de ocorrência é 2 e o seu grau de consequência 5 que perfaz um grau de risco 10.

Em relação ao modelo numérico XBEACH o grau de ocorrência é de 1 e o seu grau de consequência é 5 que perfaz um grau de risco de 5.

Segundo a Tabela 2.12 ambos os graus de risco são classificados como reduzidos, o que significa que podem ser aceitáveis e toleráveis. Assim é recomendado que se selecione um conjunto de

medidas para o seu controlo e que se esteja preparado para aceitar possíveis danos materiais de pequena dimensão. Esta avaliação da aceitabilidade é apresentada na Tabela 2.13 (Raposeiro e Ferreira, 2011).

5.3.1.2 Tempestade 2

As Figuras 5.35 e 5.36 apresentam a avaliação de risco de inundação para as metodologias apresentadas anteriormente (fórmulas empíricas e modelo XBEACH).

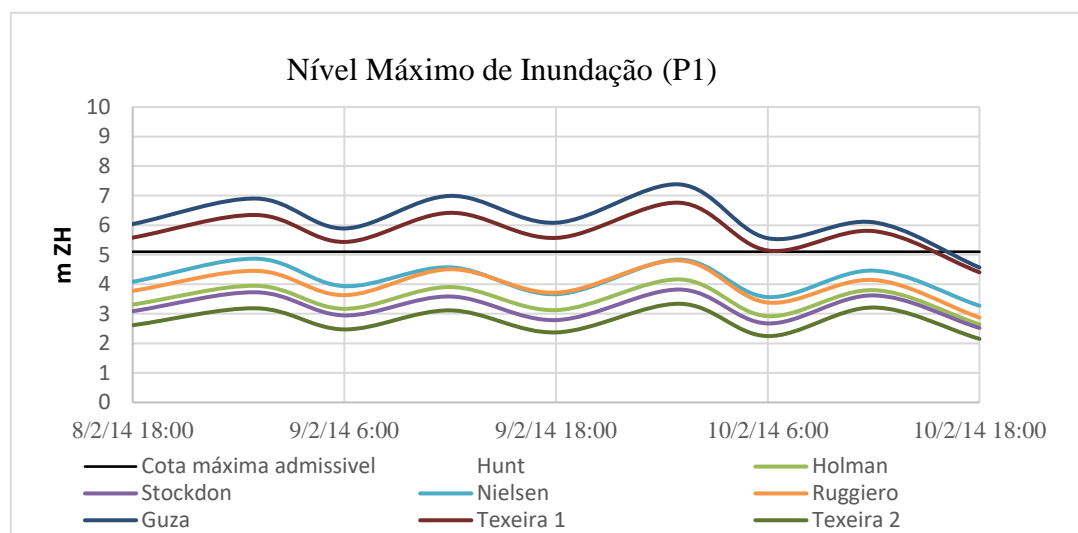


Figura 5.35 -Avaliação de risco de inundação através das fórmulas empíricas com todos os autores para a tempestade 2

Observando a Figura 5.35 verifica-se que existem alguns valores acima da cota máxima de inundação, calculando-se uma probabilidade de ocorrência de 22 %. Segundo a Tabela 2.7, a esta percentagem associa-se um grau 3 de probabilidade de ocorrência, isto é, classifica-se como indesejável. Quanto às consequências da inundação, segundo a Tabela 2.11, atribui-se um grau 5 de consequência, pois o local possui estruturas para atividades económicas relevantes (bares e apoios de praia), características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis, de reduzida resistência à degradação (solo arenoso) e áreas ocupadas por habitats com algum interesse ecológico (dunas).

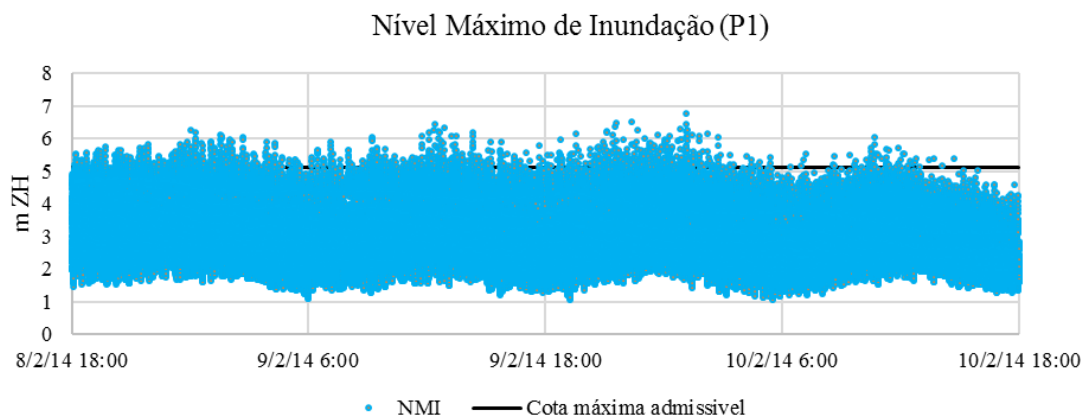


Figura 5.36 -Avaliação de risco de inundação através do modelo numérico XBEACH para a tempestade 2.

Observando a Figura 5.36 verifica-se que existem alguns valores acima da cota máxima de inundação, calculando-se uma probabilidade de ocorrência de 0.7 %. Segundo a Tabela 2.7, a esta percentagem associa-se um grau 1 de probabilidade de ocorrência, isto é, classifica-se como improvável. Quanto às consequências da inundação, segundo a Tabela 2.11, atribui-se um grau 5 de consequência, pois o local possui estruturas para atividades económicas relevantes (bares e apoios de praia), características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis, de reduzida resistência à degradação (solo arenoso) e áreas ocupadas por habitats com algum interesse ecológico (dunas).

Posteriormente o risco de inundação é calculado pela multiplicação do grau de ocorrência com o grau de consequências, em relação às fórmulas empíricas o seu grau de ocorrência é 3 e o seu grau de consequência 5 que perfaz um grau de risco 15.

Em relação ao modelo numérico XBEACH o grau de ocorrência é de 1 e o seu grau de consequência é 5 que perfaz um grau de risco de 5.

Segundo a Tabela 2.12 o grau de risco para as fórmulas empíricas é classificado com indesejável o que significa risco que deve ser evitado se for razoável em termos práticos; requer uma investigação detalhada e análise de custo-benefício; é essencial a monitorização, já o grau de risco para o modelo numérico XBEACH é classificado com reduzido, que significa que pode ser aceitável e tolerável. Assim é recomendado que se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo e que se esteja preparado para aceitar possíveis danos materiais de pequena dimensão. Esta avaliação da aceitabilidade é apresentada na Tabela 2.13 (Raposeiro e Ferreira, 2011).

5.3.1.3 Tempestade 3

As Figuras 5.37 e 5.38 apresentam a avaliação de risco de inundação para as metodologias apresentadas anteriormente (fórmulas empíricas e modelo XBEACH).

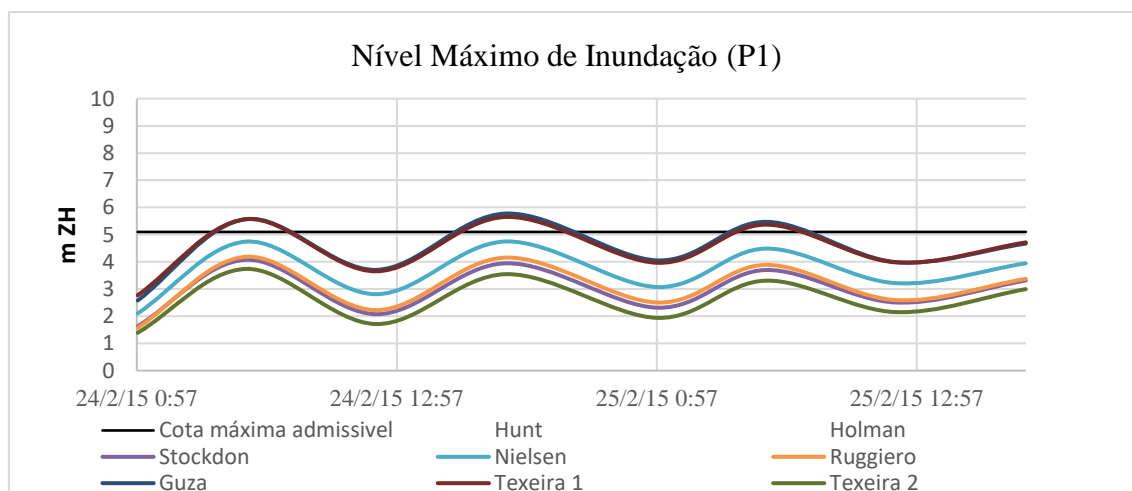


Figura 5.37 -Avaliação de risco de inundação através das fórmulas empíricas com todos os autores para a tempestade 3.

Observando a Figura 5.37 verifica-se que existem alguns valores acima da cota máxima de inundação, calculando-se uma probabilidade de ocorrência de 7.8 %. Segundo a Tabela 2.7, a esta percentagem associa-se um grau 2 de probabilidade de ocorrência, isto é, classifica-se como Raro. Quanto às consequências da inundação, segundo a Tabela 2.11, atribui-se um grau 5 de consequência, pois o local possui estruturas para atividades económicas relevantes (bares e apoios de praia), características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis, de reduzida resistência à degradação (solo arenoso) e áreas ocupadas por habitats com algum interesse ecológico (dunas).

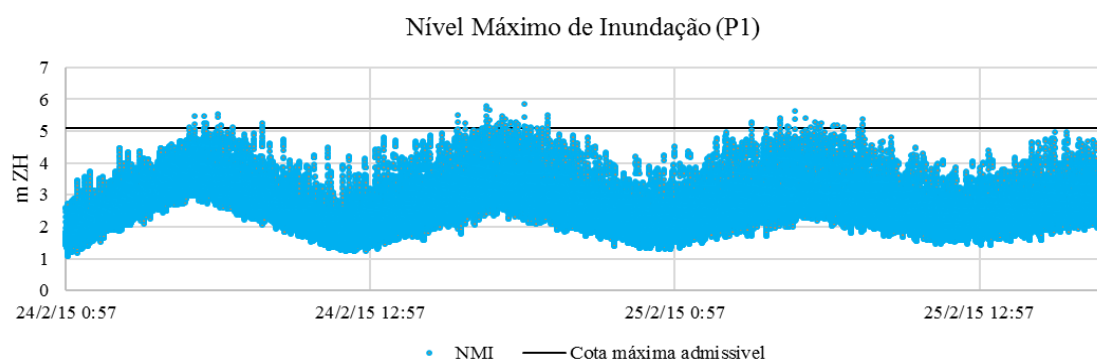


Figura 5.38 - Avaliação de risco de inundação através do modelo numérico XBEACH para a tempestade 3.

Observando a Figura 5.38 verificamos que existem alguns valores acima da cota máxima de inundação, calculando-se uma probabilidade de ocorrência de 0.05 %. Segundo a Tabela 2.7, a esta percentagem associa-se um grau de 1 de probabilidade de ocorrência, isto é, classifica-se como improvável. Quanto às consequências da inundação, segundo a Tabela 2.11, atribui-se um grau 5 de consequência, pois o local possui estruturas para atividades económicas relevantes (bares e apoios de praia), características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis, de reduzida resistência à degradação (solo arenoso) e áreas ocupadas por habitats com algum interesse ecológico (dunas).

Posteriormente, o risco de inundação é calculado pela multiplicação do grau de ocorrência com o grau de consequências, em relação às fórmulas empíricas o seu grau de ocorrência é 2 e o seu grau de consequência 5 que perfaz um grau de risco 10.

Em relação ao modelo numérico XBEACH o grau de ocorrência é de 1 e o seu grau de consequência é 5 que perfaz um grau de risco de 5.

Segundo a Tabela 2.12 ambos os graus de risco são classificados como reduzidos, o que significa que podem ser aceitáveis e toleráveis. Assim, é recomendado que se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo e que se esteja preparado para aceitar possíveis danos materiais de pequena dimensão. Esta avaliação da aceitabilidade é apresentada na Tabela 2.13 (Raposeiro e Ferreira, 2011).

5.3.1.4 Tempestade 4

As Figuras 5.39 e 5.40 apresentam a avaliação de risco de inundação para as metodologias apresentadas anteriormente (fórmulas empíricas e modelo XBEACH).

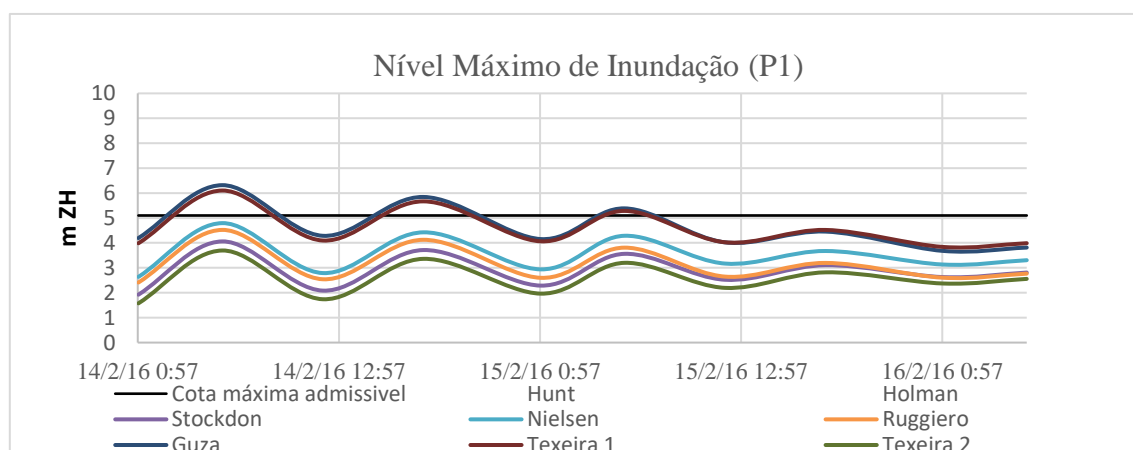


Figura 5.39 - Avaliação de risco de inundação através das fórmulas empíricas com todos os autores para a tempestade 4.

Observando a Figura 5.39 verificou-se que existem alguns valores acima da cota máxima de inundação, calculando-se uma probabilidade de ocorrência de 7.5 %. Segundo a Tabela 2.7, a esta percentagem associa-se um grau de 2 de probabilidade de ocorrência, isto é, classifica-se como Raro. Quanto às consequências da inundação, segundo a Tabela 2.11, atribui-se um grau 5 de consequência, pois o local possui estruturas para atividades económicas relevantes (bares e apoios de praia), características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis, de reduzida resistência à degradação (solo arenoso) e áreas ocupadas por habitats com algum interesse ecológico (dunas).

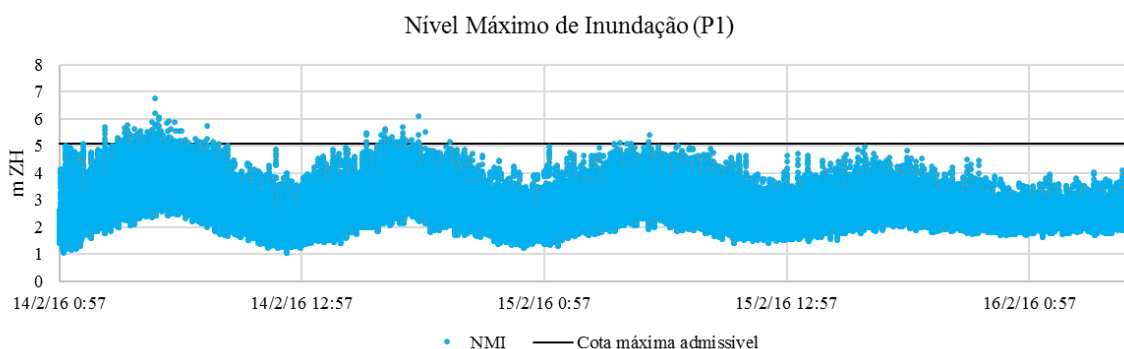


Figura 5.40 -Avaliação de risco de inundação através do modelo numérico XBEACH para a tempestade 4.

Observando a Figura 5.40 verificou-se que existem alguns valores acima da cota máxima de inundação, calculando-se uma probabilidade de ocorrência de 0.09 %. Segundo a Tabela 2.7, a esta percentagem associa-se um grau de 1 de probabilidade de ocorrência, isto é, classifica-se como improvável. Quanto às consequências da inundação, segundo a Tabela 2.11, atribui-se um grau 5 de consequência, pois o local possui estruturas para atividades económicas relevantes (bares e apoios de praia), características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis, de reduzida resistência à degradação (solo arenoso) e áreas ocupadas por habitats com algum interesse ecológico (dunas).

Posteriormente, o risco de inundação é calculado pela multiplicação do grau de ocorrência com o grau de consequências, em relação às fórmulas empíricas o seu grau de ocorrência é 2 e o seu grau de consequência 5 que perfaz um grau de risco 10.

Em relação ao modelo numérico XBEACH o grau de ocorrência é de 1 e o seu grau de consequência é 5 que perfaz um grau de risco de 5.

Segundo a Tabela 2.12 ambos os graus de risco são classificados como reduzidos, o que significa que podem ser aceitáveis e toleráveis. Assim, é recomendado que se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo e que se esteja preparado para aceitar possíveis danos materiais de pequena dimensão. Esta avaliação da aceitabilidade é apresentada na Tabela 2.13 (Raposeiro e Ferreira, 2011).

5.4.2 Avaliação de Risco de Galgamento

Em relação ao risco de galgamento, a estrutura de proteção aderente da Costa da Caparica enquadra-se nas estruturas com talude no tardo. Segundo Pullen *et al.* o caudal máximo admissível para que não ocorram danos na estrutura é de 200 l/s/m, estando o coroamento e o tardo em perfeitas condições.

Sendo a Costa da Caparica uma praia de eleição dos portugueses, esta é bastante frequentada, mesmo no inverno devido aos bares e restaurantes no local. As pessoas sujeitas às condições do local encontram-se desprevenidas e sem vestuário adequado, podendo ficar facilmente assustadas ou perturbadas com a agitação marítima. Para este caso é admissível um caudal máximo de galgamento de 0.03 l/s/m (Tabela 2.9). Para que não ocorram danos em edifícios e equipamentos localizados a 5 e a 10 m da estrutura, o caudal máximo admissível tem de estar a baixo de 1 l/s/m e de 0.4 l/s/m, respetivamente. Estes dados encontram-se na Tabela 2.10.

5.3.2.1 Tempestade 1

As Tabelas 5.18 e 5.19 apresentam a avaliação de risco de galgamento para as metodologias anteriormente apresentadas (Fórmulas empíricas e Modelo XBEACH).

Tabela 5.18 -Probabilidade de ocorrência de galgamento através das fórmulas empíricas para a tempestade 1.

Local	Probabilidade de ocorrência	Grau de ocorrência
<i>Estruturas</i>	0%	1
<i>Pessoas</i>	0%	1
<i>Edifícios</i>	0%	1
<i>Equipamentos</i>	0%	1

Tabela 5.19 - Probabilidade de ocorrência de galgamento através do Modelo XBEACH para a tempestade 1.

Local	Probabilidade de ocorrência	Grau de ocorrência
<i>Estruturas</i>	0%	1
<i>Pessoas</i>	0%	1
<i>Edifícios</i>	0%	1
<i>Equipamentos</i>	0%	1

Verificando as Tabelas e de acordo com a Tabela 2.7, observou-se que não existe qualquer possibilidade de ocorrência de galgamento, através das metodologias apresentadas. Visto que se está perante um local, que apresenta infraestruturas de proteção e ainda possui atividades económicas relevantes considera-se que as consequências são sérias atingindo o grau 5.

Tabela 5.20 -Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através das fórmulas empíricas para a tempestade 1.

Local	Grau de risco	Aceitabilidade de risco
<i>Estruturas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Pessoas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Edifícios</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Equipamentos</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>

Tabela 5.21 -Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através do Modelo XEBACH para a tempestade 1.

Local	Grau de risco	Aceitabilidade de risco
<i>Estruturas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Pessoas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Edifícios</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Equipamentos</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>

Observando as tabelas existe um risco reduzido de galgamento para as duas metodologias. Este pode ser considerado aceitável e tolerável, caso se selecionem um conjunto de medidas para o seu controlo, existindo ainda uma possibilidade de possíveis danos de matérias de pequenas dimensões.

5.3.2.2 Tempestade 2

As Tabelas 5.22 e 5.23 apresentam a avaliação de risco de galgamento para as metodologias anteriormente apresentadas (Fórmulas empíricas e Modelo XBEACH).

Tabela 5.22 -Probabilidade de ocorrência de galgamento através das fórmulas empíricas para a tempestade 2.

Local	Probabilidade de ocorrência	Grau de ocorrência
<i>Estruturas</i>	0%	1
<i>Pessoas</i>	22%	3
<i>Edifícios</i>	0%	1
<i>Equipamentos</i>	0%	1

Tabela 5.23 -Probabilidade de ocorrência de galgamento através do Modelo XBEACH para a tempestade 2.

Local	Probabilidade de ocorrência	Grau de ocorrência
<i>Estruturas</i>	0%	1
<i>Pessoas</i>	0%	1
<i>Edifícios</i>	0%	1
<i>Equipamentos</i>	0%	1

Verificando as Tabelas e de acordo com a Tabela 2.7, observou-se que para o método das fórmulas empíricas existe a probabilidade de ocorrência de 22%, isto diz-nos que para as pessoas pode ocorrer ocasionalmente, mas em relação aos outros locais não existe possibilidade de ocorrência de galgamento. Visto que se está perante um local que apresenta infraestruturas de proteção e ainda de atividades económicas relevantes, considera-se que as consequências são sérias, atingindo o grau 5.

Tabela 5.24 -Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através das fórmulas empíricas para a tempestade 2.

Local	Grau de risco	Aceitabilidade de risco
<i>Estruturas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Pessoas</i>	<i>15</i>	<i>Indesejável</i>
<i>Edifícios</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Equipamentos</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>

Tabela 5.25 -Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através do Modelo XEBACH para a tempestade 2.

Local	Grau de risco	Aceitabilidade de risco
<i>Estruturas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Pessoas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Edifícios</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Equipamentos</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>

Observando as tabelas, verificou-se que através do método das fórmulas empíricas as pessoas estão sujeitas a um grau de risco de 15 e ainda existe um risco indesejável de galgamento. Seria uma mais valia, a criação de um sistema de alerta para a salvaguarda de pessoas e bens, que se encontram na zona de risco. Em relação aos outros parâmetros observou-se que existe um risco reduzido de galgamento para as duas metodologias, sendo que este pode ser considerado aceitável e tolerável. Caso se seleccionem um conjunto de medidas para o seu controlo, existe ainda uma possibilidade de possíveis danos de matérias de pequenas dimensões.

5.3.2.3 Tempestade 3

As Tabelas 5.26 e 5.27 apresentam a avaliação de risco de galgamento para as metodologias anteriormente apresentadas (Fórmulas empíricas e Modelo XBEACH).

Tabela 5.26 - Probabilidade de ocorrência de galgamento através das fórmulas empíricas para a tempestade 3.

Local	Probabilidade de ocorrência	Grau de ocorrência
<i>Estruturas</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>
<i>Pessoas</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>
<i>Edifícios</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>
<i>Equipamentos</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>

Tabela 5.27 - Probabilidade de ocorrência de galgamento através do Modelo XBEACH para a tempestade 3.

Local	Probabilidade de ocorrência	Grau de ocorrência
<i>Estruturas</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>
<i>Pessoas</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>
<i>Edifícios</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>
<i>Equipamentos</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>

Verificando as tabelas e de acordo com a Tabela 2.7, observou-se que não existe qualquer possibilidade de ocorrência de galgamento, através das metodologias apresentadas. Visto que estamos perante um local que apresenta infraestruturas de proteção e ainda possui atividades económicas relevantes, considera-se que as consequências são sérias atingindo o grau 5.

Tabela 5.28 -Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através das fórmulas empíricas para a tempestade 3.

Local	Grau de risco	Aceitabilidade de risco
<i>Estruturas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Pessoas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Edifícios</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Equipamentos</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>

Tabela 5.29 -Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através do Modelo XEBACH para a tempestade 3.

Local	Grau de risco	Aceitabilidade de risco
<i>Estruturas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Pessoas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Edifícios</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Equipamentos</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>

Observando as tabelas existe um risco reduzido de galgamento para as duas metodologias. Este pode ser considerado aceitável e tolerável. Caso se selecionem um conjunto de medidas para o seu controlo, existe ainda uma possibilidade de possíveis danos de matérias de pequenas dimensões.

5.3.2.3 Tempestade 4

As Tabelas 5.30 e 5.31 apresentam a avaliação de risco de galgamento para as metodologias anteriormente apresentadas (Fórmulas empíricas e Modelo XBEACH).

Tabela 5.30 - Probabilidade de ocorrência de galgamento através das fórmulas empíricas para a tempestade 4.

Local	Probabilidade de ocorrência	Grau de ocorrência
<i>Estruturas</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>
<i>Pessoas</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>
<i>Edifícios</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>
<i>Equipamentos</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>

Tabela 5.31 - Probabilidade de ocorrência de galgamento através do Modelo XBEACH para a tempestade 4.

Local	Probabilidade de ocorrência	Grau de ocorrência
<i>Estruturas</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>
<i>Pessoas</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>
<i>Edifícios</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>
<i>Equipamentos</i>	<i>0%</i>	<i>1</i>

Verificando as tabelas e de acordo com a Tabela 2.7, observou-se que não existe qualquer possibilidade de ocorrência de galgamento, através das metodologias apresentadas. Visto que se está perante um local que apresenta infraestruturas de proteção e ainda possui atividades económicas relevantes, considera-se que as consequências são sérias atingindo o grau 5.

Tabela 5.32 - Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através das fórmulas empíricas para a tempestade 4.

Local	Grau de risco	Aceitabilidade de risco
<i>Estruturas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Pessoas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Edifícios</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Equipamentos</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>

Tabela 5.33 - Risco de galgamento e Aceitabilidade de risco através do Modelo XEBACH para a tempestade 4.

Local	Grau de risco	Aceitabilidade de risco
<i>Estruturas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Pessoas</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Edifícios</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>
<i>Equipamentos</i>	<i>5</i>	<i>Reduzido</i>

Observando as tabelas existe um risco reduzido de galgamento para as duas metodologias. Este pode ser considerado aceitável e tolerável. Caso se selecionem um conjunto de medidas para o seu controlo, existe ainda uma possibilidade de possíveis danos de matérias de pequenas dimensões.

Capítulo 6 - Conclusões e desenvolvimentos futuros

O principal objetivo desta dissertação foi avaliar a vulnerabilidade do risco de galgamento costeiro através da aplicação das formulações empíricas e do modelo numérico XBEACH (Roelvink et al.2009), enquadrado no projeto HIDRALERTA (Fortes et al.,2013), na determinação dos valores de runup, nível máximo de inundação e caudal galgado. As metodologias foram aplicadas em sete praias que constituem a zona costeira da Costa da Caparica, no concelho de Almada.

Foi utilizado um conjunto de dados de agitação marítima fornecidos pelo modelo de previsão WVEWATCH III (Tolman, 1991) e transferindo as mesmas para junto à costa, recorrendo ao modelo SWAN (Booij et al., 1999). As fórmulas empíricas desenvolvidas pelos autores, são diferentes para as praias com e sem estruturas, sendo calculado para as primeiras o runup e o nível máximo de inundação e para as segundas o runup e o caudal médio galgado.

O XBEACH (Roelvink et al.2009) é um modelo numérico de previsão do efeito de tempestade marítima, na erosão e inundação de zonas costeiras e foi avaliado através da comparação do mesmo, relativamente às formulações empíricas.

O nível de maré utilizado, composto pela soma de maré astronómica com a sobrelevação foi medido pelo marégrafo de Cascais. Já os perfis transversais de cada praia foram determinados pela técnica de LIDAR. Contudo, os campos de ventos foram desprezados por não influenciarem as condições de agitação marítima, perto da costa, como influenciam ao largo.

Dos resultados a partir do modelo SWAN (Booij et al., 1999), destaca-se a semelhança de altura de onda e o período de pico em todas as praias, o que pode ser explicado pela batimetria diminuir paralelamente à costa. A direção de onda é bem modelada pelo modelo SWAN (Booij et al., 1999) estando identificada a sua propagação de oeste.

De modo a obter uma avaliação do desempenho das fórmulas empíricas e do modelo numérico XBEACH (Roelvink et al.2009) mais rigorosa, foram feitas quatro simulações. Numa simulação foram considerados os dados de agitação marítima, que caracterizam a tempestade 1 selecionada, recorrendo a três critérios de seleção, à altura de onda significativa ao largo, ao nível de maré e aos relatos de acontecimentos efetuados através dos meios de comunicação. Enquanto que para as outras três tempestades foram considerados os dados de agitação marítima, que caracterizam as tempestades selecionadas, por atingir uma altura de onda significativa ao largo, período de pico e nível de maré.

Na comparação dos valores numéricos obtidos observou-se uma boa concordância em termos temporais na variação de valores, quer no runup, que no caudal galgado, determinado pelas diferentes metodologias, registrando valores máximos idênticos. Já em relação aos valores do caudal galgado constata-se que existe uma concordância de valores entre as duas metodologias, existindo apenas uma exceção de valores relativamente à tempestade 2.

No período de estudo 2013 a 2016, houve fenómenos de runup e de galgamentos que provocaram alguma destruição, nomeadamente no início 2014 quando se deu a tempestade Hércules. Contudo, os resultados obtidos pela aplicação das fórmulas empíricas e do modelo, não evidenciaram uma correspondência com as ocorrências documentadas, sendo que existe uma concordância que as praias mais a norte são as mais prejudicadas pela agitação marítima.

Um dos problemas detetados foi a inexistência de dados de agitação marítima quando ocorrem esses fenómenos graves de agitação e por conseguinte, maiores estragos. As conclusões devem ser analisadas com cuidado, uma vez que elas têm limitações de dados (agitação marítima e perfis de praia) e das formulações empíricas, que não foram concebidas para as praias estudadas.

Os levantamentos de perfis de praia (novembro 2016) não coincidem com as datas dos dados de agitação marítima, para as tempestades estudadas (janeiro 2014, fevereiro 2014, fevereiro 2015 e fevereiro 2016), por isso desprezaram-se as alterações naturais provocadas e as alterações antropogénicas, provocadas pelos enchimentos de areia que se fizeram por via artificial. Estas alterações irão refletir-se no declive do fundo do mar e no declive da praia, que se mostram parâmetros relevantes no cálculo do runup e galgamento.

Deste modo, a monitorização e recolha de dados principalmente dos perfis de praia deveria ser contínuo, ou com uma frequência adaptada às ocorrências e/ou às estações do ano, de modo a documentar a evolução do local. Com dados mais precisos será possível uma melhor calibração da modelo numérico e das fórmulas empíricas implementados e, por conseguinte, as estimativas seriam mais elevadas se estivessem de acordo com a realidade.

Desta forma, a completar as limitações das formulações empíricas, principalmente no que toca ao transporte de sedimentos, que provocam modificações permanentes do fundo junto à costa e ainda aos regimes de ondas, onde são considerados monocromáticos, o modelo numérico XBEACH pode assumir um papel fundamental.

O modelo numérico XBEACH (Roelvink et al.2009), permite avaliar o caudal galgado de uma forma diferente, mas não menos interessante, pois os valores médios provenientes das fórmulas empíricas não fornecem informações pormenorizadas.

Neste estudo, notou-se que o nível de maré é um parâmetro importante na previsão de valores do nível máximo de inundação e do caudal galgado, ou seja, para um determinado valor de runup, quanto maior é o nível de maré, maior será o nível máximo de inundação, semelhante ao que acontece na determinação do caudal galgado.

Deste modo e para fazermos uma avaliação mais profunda do modelo numérico XBEACH pode-se optar por uma simulação de mais dias em que englobe, tantos dias de verão como de inverno. Este modelo contém um processo que pode incluir navios ou processos de dissipação provocados pela vegetação. Poderia ser interessante avaliar a influência das ondas provocadas pelos navios, como avaliar a influência da vegetação na rebentação de ondas, na redução da velocidade de escoamento.

Por fim, para se determinar o grau de risco de inundação na Costa da Caparica e a sua aceitabilidade foram cruzadas as tabelas de probabilidade de ocorrência e de grau de consequências.

Relativamente ao cálculo do risco e apesar das limitações dos resultados, considera-se que o risco é reduzido, podendo este não estar de acordo com a realidade do local nestes últimos anos, face a algumas situações de destruição que se têm verificado no local.

Posto isto, sugere-se que as consequências descritas sejam mais específicas para cada área de estudo e que se opte por aplicar a metodologia por praia e por ano, de modo a possibilitar um melhor ajuste de inputs às condições específicas para a área de estudo.

Referências bibliográficas

- Afonso, L. C. (2011). *Estudo numérico do galgamento de estruturas de proteção costeira*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2012). *Plano de Ação de Proteção e Valorização do Litoral 2012-2015*. Lisboa.
- Barceló, J. P. (1971). *Experimental Study of the Hydraulic Behaviour of Inclined Groyne Systems*. LNEC, Ministério das Obras Públicas, Lisboa.
- Booji, N., Ris, R. C., e Holthuijsen, L. H. (1999). *A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation*. *Journal of Geophysical Research*, 104, 7649-7666.
- Coeveld, E. M., Van Gent, M. R., e Pozueta, B. (2005). *Neural Network, Manual NN_OVERTOPPING2*. 38. Delft, Netherlands.
- Daly, C et al., 2011. *Short wave breaking effects on low frequency waves*. *Coastal Engineering proceedings*, Volume 1, pp. 1-20
- Deltares. (2011). *User Manual: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments*. Delft3D-Flow. HydroMorphodynamics.
- den Bieman, J. (2013). *XBeach grid tutorial*. Delft: Deltares.
- DHI. (2008). *Profile development: LITPROF user guide*.
- DHI. (2009). *LITPACK: LITPROF*.
- Elfrink, B., Brøker, I. e Deigaard, R. (2000) *Beach profile evolution due to oblique wave attack*. *Proc. 27th Int. Conf. on Coastal Engineering*, ASCE, Sydney.
- Faria, C. (2009). *Previsão da Agitação na Costa Noroeste Portuguesa - Implementação do SWAN*. Dissertação de Mestrado, FEUP., Porto.
- Fortes, C., Reis, M., Poseiro, P., Santos, J., Garcia, T., Capitão, R., ... Pereira da Silva, C. (2015). *Ferramenta de apoio à gestão costeira e portuária: o sistema Hidralerta*. VIII Congresso Sobre Planeamento e Gestão Das Zonas Costeiras Dos Países de Expressão Portuguesa. Universidade de Aveiro. Aveiro
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T. e Neves, P. (2013a). *Calcula_Runup_NovasEquacoes_condicoeslargo_1.f. Programa de cálculo do runup e do nível máximo de inundação utilizando várias formulações empíricas, utilizando a linguagem FORTRAN*. Relatório LNEC, Lisboa.
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T. e Neves, P. (2013b). *Calcula_Runup_galgamento_Mase.f. Programa de cálculo do runup e do nível máximo de inundação utilizando várias formulações empíricas, utilizando a linguagem FORTRAN*. Relatório LNEC, Lisboa.

- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Poseiro, P., Capitão, R., Santos, J.A., Pinheiro, L.P., Rodrigues, A., Sabino, A., Rodrigues, M.C., Raposeiro, P., Ferreira, J.C., Silva, C., Simões, A. e Azevedo, E.B. (2013c). *O Projeto HIDRALERTA. Sistema de Previsão e Alerta de Inundações em Zonas Costeiras e Portuárias. In Atas das 8ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. LNEC, Lisboa, Portugal.
- Fortes, C.J.E.M. (2002). *Transformações Não Lineares de Ondas em Zonas Portuárias. Análise pelo Método dos Elementos Finitos*. Tese de Doutoramento, Eng. Mecânica, IST. Lisboa.
- Gallien, T. W., e Guza, R. T. (2015). *Modeling and observations of wave overtopping flooding on a Southern California beach. E-Proceedings of the 36th IAHR World Congress*.
- Guza, R. T. e Thornton, E. B. (1982). *Swash oscillations on a natural beach. Journal of Geophysical Research*, 87 (C1), 483-491.
- Heleno, A. (2016). *Avaliação do espraçamento e inundação nas praias da Costa da Caparica. Modelação com o modelo XBEACH*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, ISEL, Lisboa.
- Holman, R. A. (1986). *Extreme value statistics for wave runup on a natural beach. Coastal Engineering*, 527-544.
- Hunt, I. A. (1959). *Design of seawalls and breakwaters. Journal of Waterways and Harbours Division*, 85, 123-152.
- INE. (2011). *Censos*.
- Komar, P. D. (1976). *Beach processes and Sedimentation*. Prentice-Hall.
- Larson, M., e Kraus, N. C. (1989). *SBEACH: Numerical Model for Simulating StormInduced Beach Change. Report 1. Empirical foundation and model development (No. CERC-TR-89-9). Coastal Engineering Research Center. Vicksburg, Mississippi*.
- Larson, M., Erikson, L., e Hanson, H. (2004). *An analytical model to predict dune erosion due to wave impact. Coastal Engineering*, 51(8-9):675-696.
- Larson, M., Kraus, N. C. e Byrnes, M. R. (1990). *SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change. Report 2. Numerical Formulation and Model Tests (No. CERC/TR-89-9). US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS*.
- Larson, M., Wisén, R. e Kraus, N. C. (2004). *Modeling dune response by overwash transport. In 29th International Conference on Coastal Engineering (Vol. 1, pp. 2133-2145). World Scientific Publishing Company*.
- Martinho, M. (2014). *Avaliação e Gestão de Riscos em Áreas Litorais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Martins, A (2016). *Avaliação da hidrodinâmica e dos níveis de galgamento na Praia do Furadouro. Analise comparativa da situação atual e com construção do quebramares*. Dissertação em Engenharia Civil, FEUP, Porto.
- Mase, H. (1989). *Random wave runup height on gentle slope. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 115, 5, 649-661.

- Mase, H. e Kirby, J. T. (1993). *Hybrid frequency-domain KdV equation for random wave transformation*. Proc. 23rd Int. Conf. on Coastal Engineering, ASCE, NY, 474487
- Mase, H., Miyahira, A. e Hedges, T. S. (2004). *Random wave runup on seawalls near shorelines with and without artificial reefs*. Coastal Engineering in Japan, 46(03), 247-268
- Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T. S. e Reis, M. T. (2013). *Wave Runup and overtopping at seawalls built on land an in very shallow water*. Journal of Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering, 139, 346-357.
- Matias, A., Williams, J., Masselink, G., e Ferreira, O. (2012). *Overwash threshold for gravel barriers*. Coastal Engineering, 63, 43-48.
- Mehvar, S., Dastgheib, A. e Roelvink, J. (2015). *Validation of XBeach model for wave run-up*. E-Proceedings of the 36th IAHR World Congress, theme 5 in 745(7), pages 4743-4750, The Hague, the Netherlands.
- Mestre, R (2015). *Modelação numérica da reflexão e do espraçamento em praias e em estruturas*. Dissertação em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Neves, P. (2013). *Avaliação do risco de inundação da zona da Costa da Caparica*. Dissertação de Mestrado, FCTUC, Universidade de Coimbra. Coimbra.
- Neves, P., Poseiro, P., Fortes, C. J. E. M., Reis, T., Capitão, R., Antunes do Carmo, J., Raposeiro, P. e Ferreira, J. C. (2013). *Aplicação da Metodologia de Avaliação do Risco de Inundação/Galgamento na Praia de São João da Caparica*, Proc. 8as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, AIPCN/ PIANC, Lisboa.
- Nielsen, P. e Hanslow, D. J. (1991). *Wave Runup Distributions on Natural Beaches*. Journal of Coastal Reasearch, 7, 1139-1152
- Oliveira, F. S. B. F. (2011). *Avaliação do Modelo de Erosão de Praias e Dunas–Xbeach: Resultados Preliminares*. In 11º Congresso da Água, Porto, Portugal
- Oliveira, F. S. B. F. (2012). *Modelação numérica da erosão de dunas durante tempestades*. IV Conferência Nacional em Mecânica dos Fluidos, Termodinâmica e Energia, Lisboa, Portugal.
- Oliveira, F. S. B. F. (2013). *Erosão de dunas durante tempestades: aplicação de diferentes modelos numéricos*. Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería, Bilbao, España.
- Poseiro, P., Sabino, A., Fortes, C. J., Reis, M. T. e Rodrigues, A. (2014). *Aplicação do sistema HIDRALERTA de previsão e alerta de inundações: Caso de estudo da Praia da Vitória*. 12º Congresso da Água (No. 1).
- Pullen, T., Allsop, N. W. H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Sch, H. e Van der Meer, J. W. (2007). *EurOtop. Wave overtopping of sea defences and related structures: assessment manual*.
- Ramos, A (2014). *Influencia das correntes no comportamento do modelo SWAN na zona de Diogo Lopes, Brasil*. Dissertação em Engenharia Civil. IST, Lisboa.
- Raposeiro, P. D., Fortes, C. J., Reis, M. T. e Ferreira, J. C. (2010). *Análise de Cotas de Inundação na Praia de Vale do Lobo*. 10º Congresso da Água, APRH.

- Raposeiro, P. D. e Ferreira, J. C. (2011). *Evaluation of Coastal Flood Risk Areas and Adaption Strategies for a Sustainable Planning*, *Journal of Coastal Research*, 64, 1896-1900
- Raposeiro, P. D., Fortes, C. J., Capitão, R., Reis, M. T., Ferreira, J. C., Pereira, M. T. e Guerreiro, J. (2013). *Preliminary phases of the Hidralerta System: Assessment of the flood levels at S. João da Caparica beach, Portugal*. *Journal of Coastal Research*, 65, 808-813
- Reis, R., Gabriel, S., Fortes, C. J. e Moura, D. (2013). *Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima: Praia da Galé*. LNEC, Lisboa.
- Rocha, M. (2011). *Estruturação de áreas com valor ambiental e paisagístico na AML. Caso de Estudo POLIS Costa da Caparica*. Dissertação de Mestrado. Arquitetura – Gestão Urbanística, Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Rocha, T. (2012). *Avaliação do Galgamento de Estruturas Portuárias: Aplicação ao Porto da Praia da Vitória, Açores*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Porto.
- Roelvink, J. A. e Stive, M. J. F. (1989). *Bar-generating cross-shore flow mechanisms on a beach*. *Journal of Geophysical Research*, 94, 4785-4800.
- Roelvink, D., Reniers, A., Van Dongeren, A. P., de Vries, J. V. T., McCall, R. e Lescinski, J. (2009). *Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands*. *Coastal engineering*, 56(11), 1133-1152.
- Roelvink, D., Reniers, A., Van Dongeren, A. P., de Vries, J. V. T., Lescinski, J. e McCall, R. (2010). *XBeach model description and manual*. *Unesco-IHE Institute for Water Education*, Deltares and Delft University of Technology.
- Roelvink, D., Van Dongeren, A. P., McCall, R., Hoonhout, B., Van Rooijen, A., Van Geer, P., de Vet, L., Nederhoff, K. e Quataert, E. (2015). *XBEACH Technical Reference: Kingsday Release*. *Unesco-IHE Institute for Water Education*, Deltares and Delf University of Technology.
- Roelvink, J. A. (1993). *Dissipation in random wave group incidente on a beach*. *Coastal Engineering*, 19, 127-150.
- Ruggiero, P., Komar, P. D., McDougal, W. G., Marra, J. J. e Beach, R. A. (2001). *Wave Runup, Extreme Water Levels and the Erosion of properties backing beaches*. *Journal of Coastal Research*, 17, 407-419.
- Sallenger, A. H. (2000). *Storm impact scale for barrier islands*. *Journal of Coastal Research*, 16(3):860-895.
- Santos, F. e Vargas, C. (2012). *Mapeamento de susceptibilidade do troço costeiro da Cova do Vapor – Fonte da Telha: Inundação por águas marinhas em cenários de alterações climáticas Mudanças climáticas, costeiras e sociais. Erosões locais, concepções de risco e soluções sustentáveis em Portugal* (PTDC/CS-SOC/100376/2008).
- Saville, J. T. (1958). *Run-up on composite slopes*. *Proc. 6th Int. Conf. Coastal Eng.* (pp. 691-699). Gainesville, Florida: Asce.
- Schwartz, M. L. (2005). *Encyclopedia of Coastal Science*. 24 Springer, 145-226, Netherlands.

- Silva, D., Fortes, C. J., Reis, M. T., Carmo, J. S., Simões, A. e Rodrigues, C. (2012). *Avaliação do Galgamento de Estruturas Portuárias: Porto de Ponta Delgada*. Recursos Hídricos, 33(2), 37-51.
- Silva, S. A. (2012). *Gestão de Praias da Costa de Caparica, A capacidade de carga, o valor da onda, a segurança e informação*. Dissertação de Mestrado. FCT, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Steezel, H. J. (1993). *Cross-shore transport during storm surges*. PhD thesis, Delft University of Technology.
- Stewart, R. H. (1980). *Ocean wave measurement techniques*. *Air Sea Interaction, Instruments and Methods* (eds. Davis, R., Dobson, L. H. F.), 447–470, Plenum Press, New York,.
- Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A. e Sallenger Jr., A. H. (2006). *Empirical parameterization of setup, swash, and runup*. *Coastal Engineering*, 53, 573-588.
- Swan Team, (2007). *Swan Technical documentation Swan Cycle III version 40.51 A*, 98 pp., Delf University of Tecnology, Netherlands.
- Teixeira, S. B. (2009). *Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve*. Administração da Região Hidrográfica do Algarve, Faro.
- Thornton, E. B., MacMahan, J. e Sallenger, A. H. (2007). *Rip currents, mega-cusps, and eroding dunes*. *Marine Geology*, 240(1-4):151-167.
- Tolman, H. L. (1991) *A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents*. *Journal of Phys. Oceanogr.*, 21, 782-797.
- Tolman, H. L. (1997). *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15*. NOAA/ NWS/ NCEP/ OMB Technical Note.
- Tolman, H. L. (1999). *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18*. NOAA/ NWS/ NCEP/ OMB Technical Note
- Tolman, H. L. (2002). *User Manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22*. NOAA/ NWS/ NCEP/ OMB Technical Note.
- Tolman, H. L. (2009). *User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14*. NOAA/ NWS/ NCEP/ MMAB Techinal Note.
- Trifonova, E. (2007). *Modeling of Cross Shore Profile Changes under Combination of Extreme Storm Events*. Proceedings of the 4th International Conference Port Development and Coastal Environment PDCE 2007. Varna, Bulgaria. 301-311.
- U. Cantabria. (2009). *Sistema de Modelado Costero*.
- USACE. (2002). *Coastal Engineering Manual. Engineer Manual 1110-2-1100*, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.
- Van Dongeren, A., Bolle, A., Voudoukas, M. I., Plomaritis, T., Eftimova, P., Williams, J., ... e Haerens, P. (2009, December). MICORE: *dune erosion and overwash model validation with data from nine European field sites*. In *Proceedings of coastal dynamics* (Vol. 9, pp. 1-15).

- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Pais-Barbosa, J., Costa, J. e Rodrigues, A. (2006). *Estudo das intervenções na Costa da Caparica. Costa da Caparica Coastal Protection Works*. 1as Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos E Ambiente, (1), 27–35.
- Veloso-Gomes, F., Rodrigues, J. A., Taveira-Pinto, F., PaisBarbosa, J. e Neves, L. D. (2009). *Costa da Caparica Artificial Sand Nourishment and Coastal Dynamics*. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 678-682.
- Vousdoukas, M. I., Almeida, L. P. e Ferreira, Ó. (2011). *Modelling storm-induced beach morphological change in a meso-tidal reflective beach using XBeach*. *Journal of Coastal Research* 64: 1916-1920.
- Zijlema, M., Stelling, G. e Smit, P. (2011). *SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters*. *Coastal Engineering*, 58(10), 992-1012.

Anexo A - Programas FORTRAN e ficheiros de input e outputs

- 1) Programa em linguagem FORTRAN desenvolvido para determinar o runup, através de fórmulas concebidas por vários autores, em praias sem estrutura de proteção aderente.

```
program RUNUP_mase
```

```
c Juana Fortes, Teresa Reis 31/05/2013
```

```
c Cálculo dos valores runup para o largo
```

```
integer ii
```

```
real HM0(365000), HRMS(365000), TP(365000), Dir(365000), TS(365000) real  
smax(365000), prof(365000)
```

```
real Lzwm_Nielsen, Nmax_inundacao_1,betaf,parametro,profundidade,  
*pi,Rmedio,Rrms,R50,R1,R2, Nmax_inundacao_hunt,L0p,L0s,hs,  
*Nmax_inundacao_holman1,Nmax_inundacao_teixeira1,  
*Nmax_inundacao_teixeira2,Nmax_inundacao_Stock, *Nmax_inundacao_nielsen,  
Nmax_inundacao_Rugg, *Nmax_inundacao_guza, LZWM
```

```
open(3,file="Alturas_condicoeslargo.dad")  
open(7,file="dados_condicoeslargo.dad")  
open(33,file="galgamento_R_totais.dat")  
open(34,file="todos_os_resultados_totais.dat")  
open(35,file="r2_total.dat")  
open(36,file="r1_total.dat")  
open(37,file="rs_total.dat")  
open(38,file="rmax_total.dat")  
open(39,file="rmedio_total.dat")  
open(40,file="Nmax_inundacao_total.dat")
```

```
write(33,888)
```

```

do i=35,40
write(i,888)
888 format ("      HM0(i)      L0      TP(i)      smax(i)
*Hunt      Holman1
*Stock      Nielsen      Rugg      Guza      rmax_Teixeira1      *      rmax_Teixeira2      ")

enddo

pi= 4*atan(1.)
g= 9.81

c Leitura de dados
c betaf= ângulo do perfil de praia (em graus)
c cota - cota batimétrica ao largo ou antes da rebentação.
c read(4,*)betaf

read(7,*)betaf
read(7,*)cota

write(34,*)'betaf=',betaf

c write(*,*)betaf, profundidade

npontos=0
c Leitura do ficheiro Alturas.dat
write(34,*)'HM0(ii),TP(ii),Dir(ii), smax(ii), TS(ii)'

do ii=1,1000000
read (3,*,END=533)HM0(ii),TP(ii),Dir(ii), smax(ii)

TS(ii)=TP(ii)/1.05
write(34,*)HM0(ii),TP(ii),Dir(ii), smax(ii),Ts(ii)
npontos=npontos+1 enddo
533 write(34,*)'numero de pontos lidos=',npontos

c Cálculo do HRMS e  $Lo=gts^2/2\pi$ . note-se que o  $ts= tp/1.05$ 

```

```
do I = 1,npontos
if (HM0(i).eq.0)then
Lzwm=0
R2_hunt=0
R2_holman1=0
R2_Stock=0
R2_nielsen=0
R2_Rugg=0
R2_guza=0
R1_hunt=0
R1_holman1=0
R1_Stock=0
R1_nielsen=0
R1_Rugg=0
R1_guza=0
Rs_hunt=0
```

```
Rs_holman1=0
Rs_Stock=0
Rs_nielsen=0
Rs_Rugg=0
Rs_guza=0
```

```
Rmax_hunt=0
Rmax_holman1=0
Rmax_Stock=0
Rmax_nielsen=0
Rmax_Rugg=0
Rmax_guza=0
```

```
Rmed_hunt=0
Rmed_holman1=0
Rmed_Stock=0
Rmed_nielsen=0
Rmed_Rugg=0
Rmed_guza=0
```

```

Nmax_inundacao_hunt=Smax(i)
Nmax_inundacao_holman1=Smax(i)
Nmax_inundacao_Stock=Smax(i)
Nmax_inundacao_nielsen=Smax(i)
Nmax_inundacao_Rugg=Smax(i)
Nmax_inundacao_guza=Smax(i)
Nmax_inundacao_Teixeira1=Smax(i)
Nmax_inundacao_Teixeira2=Smax(i)

```

```

Rmax_Teixeira1=0
Rmax_Teixeira2=0

```

```

go to 666
endif

```

```

c Cálculo do  $L0 = gtp0^2/2\pi$ 
L0p=9.81*TP(i)**2/2/pi
L0s=9.81*TS(i)**2/2/pi
prof(i)=cota+smax(i)

```

```

c write(*,*)'L0p primeiro=', L0p
c write(*,*)'L0s primeiro=', L0s
c write(*,*) ' prof(i)=', prof(i)
c write(*,*) ' Ts(i)=', Ts(i)

```

```

write(*,*)'i H Tp Teta',i, HM0(i),Tp(i), Dir(i)

```

```

call comp_onda(Tp(i),Ts(i),prof(i),L0p,L0s)

```

```

c write(*,*)'L0p final=', L0p
c write(*,*)'L0s final=', L0s

```

```

c calculo de HS e HRMS com base nos valores ao largo
HS=HM0(i)
c write(*,*)'Calculo com os valores do largo'

```

```

c Cálculo do HRMS

```


HRMS(i)=Hs/1.416

c write(*,*)'HRMS (i) antigo=', HRMS (I)

HRMS(i)=(0.6725+0.2025*(HM0(i)/prof(i)))*HM0(i)

c write(*,*)'HRMS (i) novo=', HRMS (I)

c Cálculo do Lzwm

declive_rad=tan(Betaf*pi/180)

c write(*,*)'declive_rad=',declive_rad, HM0(i)

qsip=(declive_rad/(HM0(i)/L0p)**0.5)

qsis=(declive_rad/(HM0(i)/L0s)**0.5)

c write(*,*)'qsip=', qsip

c calculo da formula de hunt

ajuda1= sqrt(HM0(i)/Ts(i)**2)

write(34,*)i, HM0(i), TP(i), ts(i), Smax (i), L0p, L0s,
*hs, hrms(i), declive_rad, qsip, qsis, ajuda1'

write(34,778)i, HM0(i), TP(i), ts(i), Smax (i), L0p, L0s,
*hs, hrms(i), declive_rad, qsip, qsis, ajuda1

c calculo com o hunt

if (declive_rad.lt.ajuda1)then

R2_hunt=declive_rad*(HM0(i)*L0s)**0.5

else

R2_hunt=3*HM0(i)

endif

Rs_hunt=R2_hunt/1.4

Rmedio_hunt=0.63*Rs_hunt

R1_hunt=1.52*Rs_hunt

Rmax_hunt=R1_hunt

Nmax_inundacao_hunt=Rmax_hunt+Smax (i)

c cálculo com o holman1

$$R2_holman1 = HM0(i) * (0.83 * q_{sip} + 0.2)$$

$$Rs_holman1 = R2_holman1 / 1.4$$

$$R_{medio_holman1} = 0.63 * Rs_holman1$$

$$R1_holman1 = 1.52 * Rs_holman1$$

$$R_{max_holman1} = R1_holman1$$

$$N_{max_inundacao_holman1} = R_{max_holman1} + S_{max}(i)$$

c cálculo com Teixeira1

$$R_{max_Teixeira1} = 0.8 * HM0(i) + 0.62$$

$$R1_Teixeira1 = R_{max_Teixeira1}$$

$$Rs_Teixeira1 = R1_Teixeira1 / 1.52$$

$$R_{medio_Teixeira1} = 0.63 * Rs_Teixeira1$$

$$R2_Teixeira1 = Rs_Teixeira1 * 1.4$$

$$N_{max_inundacao_teixeira1} = R_{max_teixeira1} + S_{max}(i)$$

c cálculo com Teixeira2

$$R_{max_Teixeira2} = 1.08 * HM0(i) * q_{sip}$$

$$R1_Teixeira2 = R_{max_Teixeira2}$$

$$Rs_Teixeira2 = R1_Teixeira2 / 1.52$$

$$R_{medio_Teixeira2} = 0.63 * Rs_Teixeira2$$

$$R2_Teixeira2 = Rs_Teixeira2 * 1.4$$

$$N_{max_inundacao_teixeira2} = R_{max_teixeira2} + S_{max}(i)$$

c cálculo da formula de stockon

if ($q_{sip} > 0.3$) then

$$ajuda1 = (0.35 * declive_rad * (HM0(i) * L0p)^{0.5})$$

$$ajuda2 = (HM0(i) * L0p * (0.563 * declive_rad^{0.5} + 0.004))^{0.5}$$

$$ajuda22 = HM0(i) * L0p * (0.563 * declive_rad^{0.5} + 0.004)$$

$$ajuda23 = ajuda22^{0.5}$$

$$ajuda3 = 0.5 * ajuda23$$

$$ajuda4 = 1.1 * (ajuda1 + ajuda3)$$

$$R2_Stock = 1.1 * (0.35 * declive_rad * (HM0(i) * L0p)^{0.5}) + 1.1 * 0.5 * ((HM0(i) * L0p * (0.563 * declive_rad^{0.5} + 0.004))^{0.5})$$

```

else
R2_Stock= 0.043*(HM0(i)*L0p)**0.5
Endif

C
c write(*,*)ajuda1, ajuda2, ajuda22, ajuda23, ajuda3, ajuda4

Rs_stock=R2_Stock/1.4

Rmedio_stock=0.63*Rs_stock
R1_stock=1.52*Rs_stock
Rmax_stock=R1_stock
Nmax_inundacao_stock=Rmax_stock+Smax(i)

write(*,*)'Stok: R2 R1 Rs Nmax', R2_stock, Rs_stock,
*R1_stock, Nmax_inundacao_stock

c calculo de Nielsen
if (declive_rad.ge.0.1)then
Lzwm= 0.6*(HRMS(i)*L0s)**0.5*declive_rad
else
Lzwm=0.05*(HRMS(i)*L0s)**0.5
Endif

c write(*,*)'LZWM=',lzwm

ajuda=sqrt(-alog(0.02))
c write(77,*)ajuda

R2_Nielsen=Lzwm*1.98
Rs_Nielsen=1.42*Lzwm
Rmedio_Nielsen=0.89*Lzwm
R1_Nielsen=2.15*Lzwm
Rmax_Nielsen=R1_Nielsen
Nmax_inundacao_nielsen=Rmax_nielsen+Smax(i)

```

c cálculo da formula de Ruggiero

if (qsip.lt.0.5)then

R2_Rugg=0.5*HM0(i)-0.22

if (R2_Rugg.lt.0)then

R2_Rugg=0

endif

else

R2_Rugg= 0.27*(declive_rad*HM0(i)*L0p)**0.5

endif

Rs_Rugg=R2_Rugg/1.4

Rmedio_Rugg=0.63*Rs_rugg

R1_Rugg=1.52*Rs_Rugg

Rmax_Rugg=R1_Rugg

Nmax_inundacao_rugg=Rmax_rugg+Smax(i)

c cálculo da formula de Guza

Rs_Guza=0.71*HM0(I)+0.035

Rmedio_Guza=0.63*Rs_Guza

R2_Guza=1.4*Rs_Guza

R1_Guza=1.52*Rs_Guza

Rmax_Guza=R1_Guza

Nmax_inundacao_guza=Rmax_guza+Smax(i)

666 write(35,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i), R2_hunt,R2_holman1,

*R2_Stock, R2_nielsen, R2_rugg, R2_guza,r2_Teixeira1

*,r2_Teixeira2

write(36,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),R1_hunt,R1_holman1,

*R1_Stock, R1_nielsen, R1_rugg, R1_guza,r1_Teixeira1

*,r1_Teixeira2

write(37,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),Rs_hunt,Rs_holman1,

*Rs_Stock, Rs_nielsen, Rs_rugg, Rs_guza,rs_Teixeira1

*,rs_Teixeira2

```

write(38,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),Rmax_hunt,Rmax_holman1,
*Rmax_Stock, Rmax_nielsen, Rmax_rugg, Rmax_guza,rmax_Teixeira1
*,rmax_Teixeira2

write(39,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),Rmedio_hunt,Rmedio_holman1,
*Rmedio_Stock, Rmedio_nielsen, Rmedio_rugg, Rmedio_guza,
*rmedio_Teixeira1,rmedio_Teixeira2

write(40,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),Nmax_inundacao_hunt,
*Nmax_inundacao_holman1,
*Nmax_inundacao_Stock, Nmax_inundacao_nielsen,Nmax_inundacao_rugg,
*Nmax_inundacao_guza,Nmax_inundacao_Teixeira1,
*Nmax_inundacao_Teixeira2

write(34,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i), R2_hunt,Rs_hunt,
*Rmedio_hunt, r1_hunt, rmax_hunt, Nmax_inundacao_hunt

write(34,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i), R2_holman1,Rs_holman1,
*Rmedio_holman1, r1_holman1, rmax_holman1, Nmax_inundacao_holman1

777 format(16(f12.3,4x))
778 format(i5,18(f12.5,4x))

enddo
end

subroutine comp_onda(Tpp,Tss, profundidade, L0p_novo, L0s_novo) real L0p_novo,
L0s_novo, Tpp, Tss, profundidade, k_antigo, k_novo,
*L0p_antigo, L0s_antigo

pi=4*atan (1.)
np=0
ns=0

L0p_antigo=9.81*Tpp**2/2./pi
L0s_antigo=9.81*Tss**2/2./pi
c write(*,*)L0p_antigo, L0s_antigo k_antigo=2*pi/L0p_antigo

```

```

c write(*,*) profundidade, Tpp
c write(*,*)'primeiro antigo',L0p_antigo, L0s_antigo, profundidade,
c  *tpp, tss
333 L0p_novo=9.81*Tpp**2/2./pi*tanh(2*pi*profundidade/L0p_antigo)
k_novo=(2*pi)**2/Tpp**2/(9.81*tanh(k_antigo*profundidade))
c write(*,*)k_novo
diff=abs(k_novo-k_antigo)
if (diff.gt.0.0001 .and. ns.lt.300)then
c write(*,*)' mais um',np, k_novo, k_antigo
k_antigo=k_novo
np=np+1
go to 333
endif

444 L0s_novo=9.81*Tss**2/2./pi*tanh(2*pi*profundidade/L0s_antigo)
diff=abs(L0s_novo-L0s_antigo)
if (diff.gt.0.0001 .and. ns.lt.200)then
c write(*,*)' estou aqui', ns,L0s_novo, L0s_antigo, diff
L0s_antigo=L0s_novo
ns=ns+1
go to 444
endif

L0p_novo=2*pi/k_novo

c write(*,*)' final novo', k_novo, L0p_novo, L0s_novo

end

```

2) Programa em linguagem FORTRAN desenvolvido para determinar o caudal galgado, através de fórmulas concebidas por Mase et al. (2013), em praias com estrutura de proteção aderente.

program galgamento estruturas

c Juana Fortes, Teresa Reis 15/08/2014

c Calculo dos valores runup para o largo e junto à costa

integer ii

real Ts(365000),xp(30),yp(30),smax(365000),caudal, prof(365000)

real HM0(365000), TP(365000), Dir(365000),H0L0(4,30),HBH0(4,30)

real Lzwm_Nielsen, Nmax_inundacao_1,betaf,parametro,

*cotabatimetrica,L0,

*pi,Rrms,R1_10,R1_3,R2,Rmax,H0_L0,BOTTOM,HB,cr,caudal_final

open(3,file="Alturas_condicoeslargo.dad")

open(4,file="dados_condicoeslargo.dad")

open(33,file="galgamento_R_totais.dat")

open(34,file="teste.dat")

open(36,file="TABELA.dad")

open(23,file="estrutura.dad")

write(33,888)

c write(34,888)

888 format (" i HM0(i) TP(i) Dir (i)

*L0 H0/L0 HB/H0 HB

*PROF_L0 R2 R1_10 R1_3

*Rmax Caudal Caudal_final")

pi= 4*atan(1.) g= 9.81

c Leitura de dados c cotabatimetrica - cota batimetrica (valor em metros, positivo)

c betaf= angulo do perfil de praia (em graus)

C METODO - 1 OU 2 C COTA - COTA DO COROAMENTO DA ESTRUTURA (valor em metros, negativo)

C GC - largura da estrutura

C BOTTOM - INCLINACAO DO FUNDO 1:20

c gamaf - gamaf (que é 0.5)

read(4,*)cotabatimetrica

read(4,*)betaf

read(4,*)metodo

read(4,*)cota

read(4,*)GC

READ(4,*)BOTTOM

```

read(4,*)gamaf

write(34,*)' '
write(34,*)' cotabatimetrica betaf,METODO, COTA da Estrutura,
*BOTTOM, gamaf'

write(34,*) cotabatimetrica, betaf,METODO,cota,BOTTOM, gamaf
write(*,*)' cotabatimetrica betaf,METODO, COTA da Estrutura,
*BOTTOM, gamaf'

write(*,*) cotabatimetrica, betaf,METODO,cota,BOTTOM, gamaf
write(34,*)' '
npontos=0
c   os valores de smax são valores positivos, mas deviam ser negativos daí que se vai fazer a
transformação

write(34,*)'Agitação: HM0(ii),TP(ii),Dir(ii),smax(ii)'

c Leitura do ficheiro alturas.dat
do ii=1,1000000
read (3,*,END=533)HM0(ii),TP(ii),Dir(ii),smax(ii)

smax(ii)=-smax(ii)
c write(*,*)HM0(ii),TP(ii),Dir(ii),smax(ii)

npontos=npontos+1
enddo
533 write(34,*)' '
write(*,*)'npontos=',npontos

c Leitura da tabela H0/L0 versus HB/L0
write(34,*)' '
WRITE(34,*)"Tabela: H0L0(i,j),HBH0(i,J)'

do j=1,15
read(36,*)((H0L0(I,J),HBH0(i,j)),i=1,4)
WRITE(34,7878)((H0L0(i,J),HBH0(i,J)),i=1,4)
enddo
7878 format(8f12.4)
write(34,*)' '

c write(*,*)'npontos1=',npontos

c Leitura da estrutura
write(34,*)'Características da estrutura: xp(i),yp(i) (valor positivo
*abaixo do nível de agua, valor negativo acima do nível de agua)'

read(23,*)np
do i=1,np
read(23,*)xp(i),aaa
yp(i)=-aaa
write(34,*)xp(i),yp(i)
enddo

```



```

c write(*,*)'npontos2=',npontos

c Inicialização

do I = 1,npontos
write(34,*)' '
write(34,*)' '
write(34,*)' '
write(34,*)' '

write(34,*)'*****'
write(34,*)'CONDIÇÃO DE AGITAÇÃO=', I
write(34,*)'*****'

if (HM0(i).eq.0)then
R2=0
R1_10=0
R1_3=0
endif

c Cálculo do  $L0=gtp0^2/2\pi$ 
TS(i)=TP(i)/1.05
L0=9.81*Ts(i)**2/2/pi
prof(i)=cotabatimetrica-smax(i)

c calculo de HS e HRMS com base nos valores ao largo
HS=HM0(i)

c condições de aplicabilidade
declive=tan(Betaf*pi/180)
H0_L0=HM0(i)/L0
PROF_L0=(cotabatimetrica-smax(i))/L0

c Cálculo do R2%, R1/10 e R1/3
write(34,*)' '
Write(34,*)'HM0(i),TP(i),Dir(i),HS,TS(I),L0,H0/L0, PROF/L0, DECLIVE'

Write(34,343)HM0(i),TP(i),Dir(i), HS,TS(I),L0,H0_L0, PROF_L0, DECLIVE
343 format(10f12.4)
WRITE(34,*)' '

c write(*,*)'npontos4=',npontos

WRITE(34,*)' '
write(34,*)'*****Calculo de R2*****1'
call calculo_hb(R2,BETAF,HM0(I),L0,H0L0,HBH0,BOTTOM,prof(i),
*xp,yp,np,1, valor_HBH0,HB)
WRITE(34,*)' '
WRITE(34,*)' '
WRITE(34,*)' '

c write(*,*)'npontos5=',npontos
write(34,*)'*****Calculo de R1_10*****3'

```

```

call calculo_hb(R1_10,BETAF,HM0(I),L0,H0_L0,HBH0,BOTTOM,prof(i),
*xp,yp,np,3, valor_HBH0,HB)
WRITE(34,*)' '
WRITE(34,*)' '
WRITE(34,*)' '

```

```

c write(*,*)'npontos7=',npontos

```

```

Write(34,*)' i,HM0(i),TP(i),Dir(i),L0,H0_L0, valor_HBH0,HB,PROF_L0,
*r2,r1_10,r1_3'
Write(34,779)i,HM0(i),TP(i),Dir(i),L0,H0_L0,valor_HBH0,HB,PROF_L0,
*r2,r1_10,r1_3
779 format(i4,16(f12.4,3x))
WRITE(34,*)' '

```

C Metodo 1

c calculo de rmax, rc e caudal

```

IF (METODO.EQ.1)THEN

```

```

RMAX=1.09*R2

```

```

c RC=COTA+prof(I)

```

```

RC=ABS(cota-smax(i))

```

```

if (i.eq.1) then

```

```

write(*,*)'rmax, rc=', rmax, rc

```

```

endif

```

```

c estrutura de enrocamento: gama(f)=0.5

```

```

RMAX=RMAX*gama f

```

```

IF (RC.GT.0 .AND. RC.LT.RMAX)THEN

```

```

CAUDAL= sqrt(9.81*HM0(i)**3)*(0.018*(RMAX/HM0(I))**1.5
**((1-(RC/HM0(i)))/(RMAX/HM0(i)))**3.2)

```

```

ELSE

```

```

CAUDAL=0

```

```

ENDIF

```

```

CR=3.06*exp(-1.5*GC/HM0(i))

```

```

IF (CR.GT.1 .OR. GC/HM0(I).LT.0.75)CR=1

```

```

CAUDAL_FINAL=CAUDAL*CR

```

```

write(34,*)'estou aqui no metodo 1 e o Rmax, RC e caudal,

```

```

*CR,caudal_final são:'

```

```

write(34,*)rmax, rc, caudal,CR,CAUDAL_FINAL

```

```

ELSE

```

C Metodo 2

```

Rmax=1.54*R2

```

```

c RC=COTA+prof(I)

```

```

RC=ABS(cota-smax(i))

```

```

if (i.eq.1) then
write(*,*)'metodo 2 rmax, rc=, cota, smax',rmax,rc,cota,smax(i)
endif
c write(34,*)'estou aqui metodo 2 e o Rmax e o RC é',
c   *rmax, rc,prof(i),cota

write(34,*)rmax

c estrutura de enrocamento: gama(f)=0.5

RMAX=RMAX*gamaf

IF (RC.gt.0 .AND. RC.Lt.RMAX)THEN
Caudal= sqrt(9.81*HM0(I)**3)*(0.018*(RMAX/HM0(I))**1.5
** (1-(RC/HM0(I))/(RMAX/HM0(I)))**6.24)

ELSE
CAUDAL=0
ENDIF

CR=3.06*exp(-1.5*GC/HM0(i))
IF (CR.GT.1 .OR. GC/HM0(I).LT.0.75)CR=1
CAUDAL_FINAL=CAUDAL*CR

write(34,*)'estou aqui no metodo 2 e o Rmax, RC,caudal,
*CR,caudal_final são:'
write(34,*)rmax, rc, caudal,CR,CAUDAL_FINAL

ENDIF
write(34,*)' '
write(34,*)'Valores finais para condicao=',i,r2,r1_10,r1_3,rmax,
*caudal, caudal_final' write(34,777)i,r2,r1_10,r1_3,rmax,caudal, caudal_final

write(33,777)i, HM0(i),TP(i),Dir(i),L0,H0_L0, valor_HBH0,HB,PROF_L0,
*r2,r1_10,r1_3,rmax,Caudal,Caudal_final
777 format(i5,27(f12.4,4x))

c WRITE(*,*)'ESTOU NA CONDICAO DE AGITACAO=',I

enddo

end

subroutine calculo_hb(R,betaf,H0,L0,H0L0,HBH0,BOTTOM,XNIVELMARE,
*xp,yp,np,ntipo,valor_HBH0,HB)

c Cálculo do R2%, R1/10 e R1/3

real H0L0(4,30),HBH0(4,30), L0, H0,xp(30),yp(30),hb, inicio,fim

NPO=0
pi=4*atan(1.)

```

```

write(34,*)'h0=',h0
write(34,*)'xnivelmare=',xnivelmare

DECLIVE=tan(Betaf*pi/180)

c write(*,*)'npontos7=',npontos

C do i=1,np

c write(34,*)xp(i),yp(i)
C enddo
if(BOTTOM.eq.10)n=1
if(BOTTOM.eq.20)n=2
if(BOTTOM.eq.30)n=3
if(BOTTOM.eq.100)n=4

valor_H0L0=H0/L0
C for i = 1 To np
C xp(i) = Perfil(i, 1)
C yp(i) = Perfil(i, 2)
C Next i

WRITE(34,*)'ESTOU NO TIPO DE CURVA=',N
write(34,*)' '

c calculo de HB
do j=1,15
WRITE(34,*)'ESTOU AQUI VALOR_H0L0=',J,VALOR_H0L0
if (valor_H0L0 .GE.0.07)THEN
valor_HBH0=HBH0(N,15)
write(34,*)'O valor de HB/L0 é maior do 0.07=',valor_HBH0
GOTO 333
ENDIF

if (valor_H0L0 .LE.0.002)THEN
valor_HBH0=HBH0(N,1)
write(34,*)'O valor de HB/L0 é menor do 0.002=',valor_HBH0
GOTO 333
ENDIF

IF (VALOR_H0L0 .lt. H0L0(N,J)) then
inicio=HBH0(n,j-1)
fim=HBH0(n,j)
valor_HBH0=inicio+(fim-inicio)*(VALOR_H0L0-H0L0(n,j-1))
*/(H0L0(n,j)-H0L0(n,j-1))
write(34,*)' '
write(34,*)'inicio, fim, valor_HBH0=',inicio, fim, valor_HBH0
goto 333
else

goto 666
ENDIF

666 CONTINUE

```

ENDDO

write(34,*)' '

C ITERACAO PARA CALCULO DO R

c primeira estimativa de R

333 R=H0

c calculo de HB

HB=valor_hbh0*h0

c inicio e fim da runup, yini e yfim

YINI=-VALOR_HBH0*H0+XNIVELMARE

3535 YFIM=R+XNIVELMARE

WRITE(34,*)'Os valores de valor_HBH0,HB,R= ',valor_HBH0,HB,R

c calculo da area WRITE(34,*)' '

WRITE(34,*) 'Estou a entrar na subrotina area '

CALL AREA(XP,YP,NP,YINI,YFIM,FINAL_AREA)

c calculo da cota beta

COTAGBETA=2*FINAL_AREA/((HB+R)**2)

c calculo do declive_novo

DECLIVE_NOVO=1./COTAGBETA

write(34,*)' '

WRITE(34,*)'Area, cotaGbeta e declive_novo',

*FINAL_AREA,COTAGBETA, DECLIVE_NOVO

WRITE(34,*)' '

c calculo do R_novo

write(34,*)'Calculo do novo R para o tipo =',ntipo

if(ntipo.eq.1)then

R_NOVO= H0*(2.99-2.73*exp(-0.57*DECLIVE_NOVO/sqrt(H0/L0)))

elseif(ntipo.eq.2)then

R_novo=H0*(2.72-2.56*exp(-0.58*DECLIVE_NOVO/sqrt(H0/L0)))

else

R_novo= H0*(2.17-2.18*exp(-0.70*DECLIVE_NOVO/sqrt(H0/L0)))

endif

NPO=NPO+1

ajuda1=R_NOVO-R

ajuda=declive_NOVO-declive

write(34,*)' '

WRITE(34,*)'R,R_NOVO, ajuda= ',R,R_NOVO,ajuda1

WRITE(34,*)'DECLIVE,DECLIVE_NOVO= ',DECLIVE,DECLIVE_NOVO,aj

uda

c verificar se ja convergiu

```
IF(abs(R_NOVO-R).GT.0.001) THEN  
R=R_NOVO
```

```
write(34,*)' ' write(34,*)' *****'  
write(34,*)'*****estou a efetuar nova interpolacao',npo  
write(34,*)'*****'
```

```
GOTO 3535
```

```
ELSE
```

```
c valores finais de R2 e de betaf  
R2=R_NOVO  
BETAF=ATAN(DECLIVE_NOVO)*180/PI
```

```
ENDIF
```

```
WRITE(34,*)'ESTOU A SAIR e o R_final=',R
```

```
END
```

```
SUBROUTINE AREA(XP,YP,NP,YINI,YFIM,FINAL_AREA)
```

```
REAL xp(30), yp(30), x(32), y(32)
```

```
write(34,*)'YINI=',yini  
write(34,*)'yfim=',yfim
```

```
ip = 0  
DO i = 2,np  
If (ip.EQ.0 .And. yp(i).GT. yini) Then  
ip = 1  
y(ip) = yini  
x(ip) = xp(i - 1) + (xp(i) - xp(i - 1)) * (yini - yp(i - 1)) * / (yp(i) - yp(i - 1))
```

```
End If
```

```

f (ip > 0) Then

    ip = ip + 1
    If (yp(i) >= yfim) Then
        y(ip) = yfim
        x(ip) = xp(i - 1) + (xp(i) - xp(i - 1)) * (yfim - yp(i - 1))

        */(yp(i) - yp(i - 1))

    GOTO 555

Else

    x(ip) = xp(i)
    y(ip) = yp(i)

End If

End If

ENDDO

555 FINAL_Area = 0
write(34,*)'ip=',ip

do i=1,ip
write(34,*)'valores i,x,y=',i,x(i),y(i)
enddo

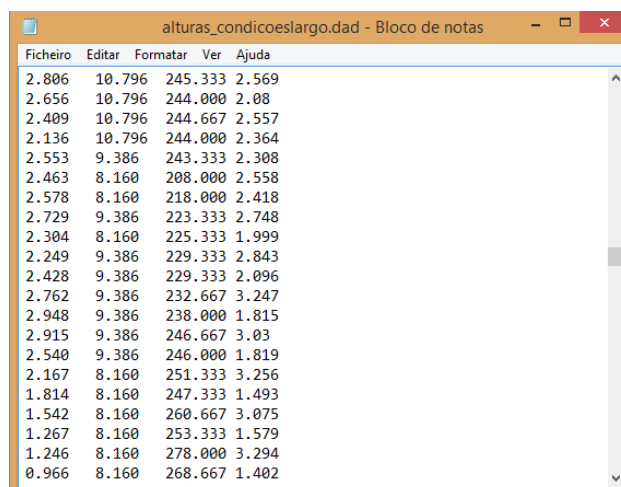
DO i = 1,ip - 1
FINAL_Area = FINAL_Area + (X(i + 1) -X(i)) * ((Y(i) - Y(1)) +
*(Y(i + 1)-Y(1)))/2.

ENDDO

write(34,*)'final_area dentro da subrotina=',final_area
END

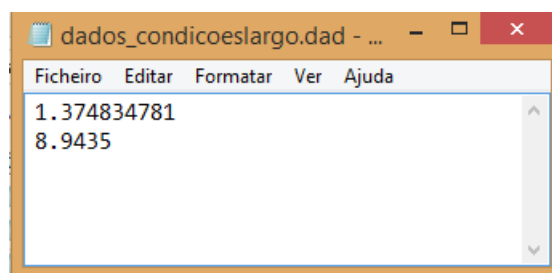
```

3) Exemplos dos ficheiros de input e output dos programas em linguagem FORTRAN e do modelo XBEACH



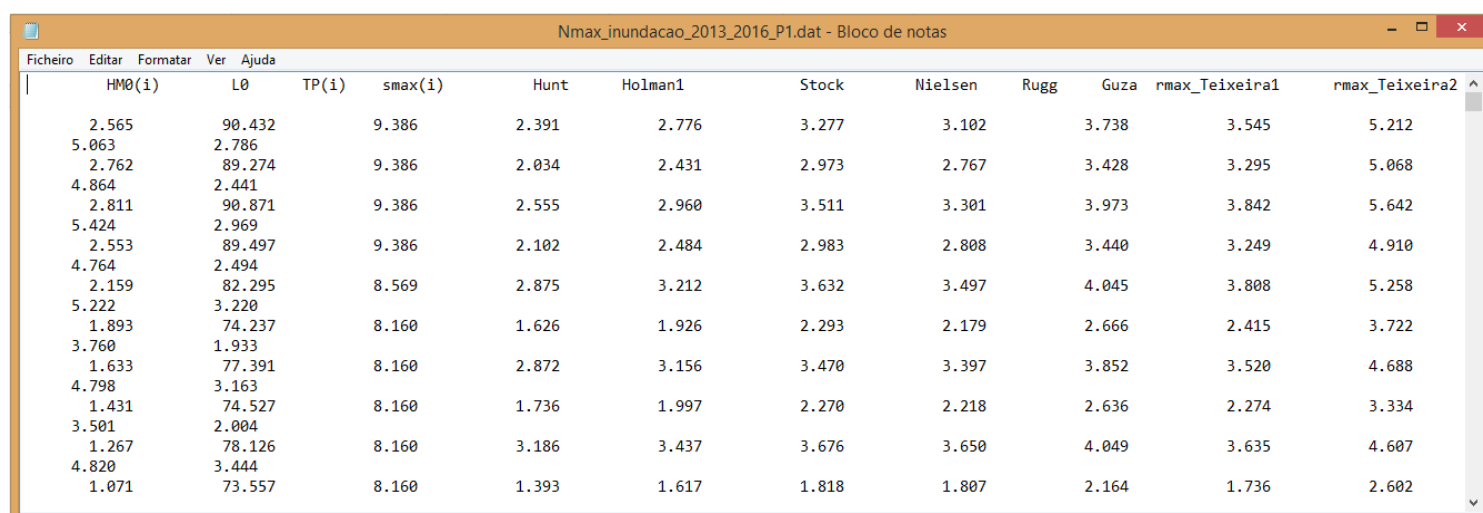
Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda
2.806	10.796	245.333	2.569	
2.656	10.796	244.000	2.08	
2.409	10.796	244.667	2.557	
2.136	10.796	244.000	2.364	
2.553	9.386	243.333	2.308	
2.463	8.160	208.000	2.558	
2.578	8.160	218.000	2.418	
2.729	9.386	223.333	2.748	
2.304	8.160	225.333	1.999	
2.249	9.386	229.333	2.843	
2.428	9.386	229.333	2.096	
2.762	9.386	232.667	3.247	
2.948	9.386	238.000	1.815	
2.915	9.386	246.667	3.03	
2.540	9.386	246.000	1.819	
2.167	8.160	251.333	3.256	
1.814	8.160	247.333	1.493	
1.542	8.160	260.667	3.075	
1.267	8.160	253.333	1.579	
1.246	8.160	278.000	3.294	
0.966	8.160	268.667	1.402	

Figura A.1 - Ficheiro de input do FORTRAN para o cálculo do runup em praia sem estrutura de proteção e runup/galgamento em praias com estrutura de proteção: “alturas_condicoeslargo.dad”



Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda
1.374834781				
8.9435				

Figura A.2 - Ficheiro de input do FORTRAN para o cálculo do runup em praias sem estrutura de proteção: “dados_condicoeslargo.dad”



Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda		HM0(i)	L0	TP(i)	smax(i)	Hunt	Holman1	Stock	Nielsen	Rugg	Guza	rmax_Teixeira1	rmax_Teixeira2
2.565						90.432		9.386		2.391	2.776	3.277	3.102		3.738	3.545	5.212
5.063						2.786											
2.762						89.274		9.386		2.034	2.431	2.973	2.767		3.428	3.295	5.068
4.864						2.441											
2.811						90.871		9.386		2.555	2.960	3.511	3.301		3.973	3.842	5.642
5.424						2.969											
2.553						89.497		9.386		2.102	2.484	2.983	2.808		3.440	3.249	4.910
4.764						2.494											
2.159						82.295		8.569		2.875	3.212	3.632	3.497		4.045	3.808	5.258
5.222						3.220											
1.893						74.237		8.160		1.626	1.926	2.293	2.179		2.666	2.415	3.722
3.760						1.933											
1.633						77.391		8.160		2.872	3.156	3.470	3.397		3.852	3.520	4.688
4.798						3.163											
1.431						74.527		8.160		1.736	1.997	2.270	2.218		2.636	2.274	3.334
3.501						2.004											
1.267						78.126		8.160		3.186	3.437	3.676	3.650		4.049	3.635	4.607
4.820						3.444											
1.071						73.557		8.160		1.393	1.617	1.818	1.807		2.164	1.736	2.602

Figura A.3 - Ficheiro de output do FORTRAN para cálculo do runup em praias sem estrutura de proteção: “Nmax_inundacao_2013_2016_P1.dat”

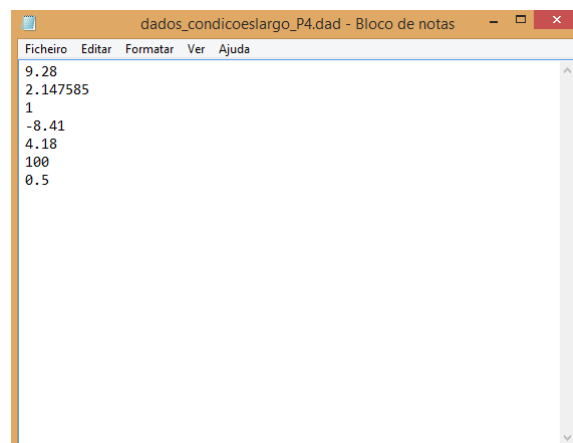


Figura A.4 - Ficheiro de input do FORTRAN para cálculo do runup/galgamento em praias com estrutura de proteção: “dados_condicoeslargo_P4.dad”

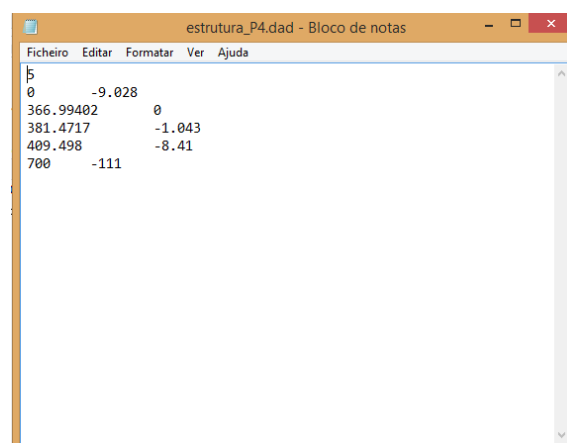


Figura A.5 - Ficheiro de input do FORTRAN para cálculo do runup/galgamento em praias com estrutura de proteção: “Estrutura_P4.dad”

Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda				
0.002	2.08	0.002	2.34	0.002	2.55	0.002	3.35	
0.003	1.9	0.003	2.22	0.003	2.44	0.003	3.17	
0.004	1.82	0.004	2.14	0.004	2.34	0.004	3.045	
0.005	1.75	0.005	2.07	0.005	2.27	0.005	2.94	
0.006	1.69	0.006	2.015	0.006	2.23	0.006	2.85	
0.007	1.66	0.007	1.975	0.007	2.18	0.007	2.8	
0.008	1.64	0.008	1.93	0.008	2.15	0.008	2.75	
0.009	1.62	0.009	1.89	0.009	2.12	0.009	2.71	
0.01	1.59	0.01	1.87	0.01	2.09	0.01	2.68	
0.02	1.52	0.02	1.78	0.02	1.96	0.02	2.58	
0.03	1.51	0.03	1.765	0.03	1.94	0.03	2.59	
0.04	1.53	0.04	1.77	0.04	1.95	0.04	2.63	
0.05	1.54	0.05	1.8	0.05	2.005	0.05	2.67	
0.06	1.56	0.06	1.83	0.06	2.045	0.06	2.71	
0.07	1.58	0.07	1.85	0.07	2.08	0.07	2.76	

Figura A.6 - Ficheiro de input do FORTRAN para cálculo do runup/galgamento em praias com estrutura de proteção: “Tabela_Geral.dad”

i	HM0(1)	TP(1)	Dir	(1) L0	H0/L0	HB/H0	HB	PROF_L0	R2	R1_10	R1_3	Rmax	Caudal	Caudal_final
1	2.6179	9.386	246	124.7589		0.021	2.581	6.7568	0.0935	5.9827	4.5874	5.4259	3.2686	0
2	2.8012	9.386	245	124.7589		0.0225	2.5825	7.234	0.0907	6.2866	4.8199	5.6955	3.4262	0
3	2.7661	9.386	247	124.7589		0.0222	2.5822	7.1425	0.0949	6.2467	4.7927	5.6633	3.4045	0
4	2.4617	9.386	249	124.7589		0.0197	2.5827	6.3578	0.0912	5.6947	4.3628	5.1662	3.1036	0
5	2.0852	9.0795	256	116.744	0.0179	2.6014	5.4244	0.1041	4.9553	3.7948	4.5015	2.7006	0	0
6	1.8547	8.1602	252	94.3001	0.0197	2.5833	4.7913	0.1157	4.3024	3.2971	3.9042	2.3448	0	0
7	1.5801	8.1602	259	94.3001	0.0168	2.6124	4.1279	0.1289	3.8124	2.9171	3.4646	2.0778	0	0
8	1.3794	8.1602	257	94.3001	0.0146	2.6337	3.633	0.1168	3.4028	2.5964	3.0939	1.8545	0	0
9	1.2357	8.1602	263	94.3001	0.0131	2.649	3.2733	0.1322	3.1135	2.3706	2.8326	1.6968	0	0
10	1.0532	8.1602	260	94.3001	0.0112	2.6683	2.8103	0.1132	2.7183	2.0618	2.4738	1.4815	0	0
11	0.9584	8.1602	290	94.3001	0.0102	2.6784	2.5669	0.1311	2.5104	1.8998	2.2852	1.3681	0	0
12	0.8345	8.1602	286	94.3001	0.0088	2.716	2.2665	0.114	2.2271	1.6795	2.0277	1.2137	0	0
13	0.9528	8.1602	288	94.3001	0.0101	2.679	2.5525	0.1338	2.4977	1.89	2.2737	1.3613	0	0
14	1.0167	9.386	277	124.7589		0.0081	2.744	2.7899	0.0847	2.7385	2.0696	2.4933	1.4925	0
15	1.3615	10.7959	279	165.0549		0.0082	2.74	3.7306	0.0707	3.6645	2.7577	3.3366	1.9971	0
16	1.493	10.7959	277	165.0549		0.009	2.7086	4.044	0.0685	3.9659	2.9922	3.6101	2.1614	0
17	1.5832	10.7959	279	165.0549		0.0096	2.6922	4.2624	0.0717	4.1765	3.1559	3.8018	2.2762	0
18	1.4773	10.7959	278	165.0549		0.009	2.712	4.0064	0.069	3.9308	2.9649	3.5783	2.1423	0
19	1.3832	10.7959	281	165.0549		0.0084	2.7348	3.7828	0.0736	3.7169	2.799	3.3844	2.0257	0
20	1.2392	10.7959	277	165.0549		0.0075	2.7746	3.4383	0.0661	3.3687	2.5294	3.0672	1.8359	0

Figura A.7 - Ficheiro de output do FORTRAN para cálculo do runup/galgamento em praias com estrutura de proteção: “galgamento_R_Totais_P4.dat”

Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda	1950	1952	1954	1956	1958	1960	1962	1964	1966	1968
1950	1952	1954	1956	1958	1960	1962	1964	1966	1968					
1970	1972	1974	1976	1978	1980	1982	1984	1986	1988					
1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008					
2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028					
2030	2032	2034	2036	2038	2040	2042	2044	2046	2048					
2050	2052	2054	2056	2058	2060	2062	2064	2066	2068					
2070	2072	2074	2076	2078	2080	2082	2084	2086	2088					
2090	2092	2094	2096	2098	2100	2102	2104	2106	2108					
2110	2112	2114	2116	2118	2120	2122	2124	2126	2128					
2130	2132	2134	2136	2138	2140	2142	2144	2146	2148					
2150	2152	2154	2156	2158	2160	2162	2164	2166	2168					
2170	2172	2174	2176	2178	2180	2182	2184	2186	2188					
2190	2192	2194	2196	2198	2200	2202	2204	2206	2208					
2210	2212	2214	2216	2218	2220	2222	2224	2226	2228					
2230	2232	2234	2236	2238	2240	2242	2244	2246	2248					
2250	2252	2254	2256	2258	2260	2262	2264	2266	2268					
2270	2272	2274	2276	2278	2280	2282	2284	2286	2288					
2290	2292	2294	2296	2298	2300	2302	2304	2306	2308					
2310	2312	2314	2316	2318	2320	2322	2324	2326	2328					
2330	2332	2334	2336	2338	2340	2342	2344	2346	2348					
2350	2352	2354	2356	2358	2360	2362	2364	2366	2368					

Figura A.8 - Ficheiro de input do modelo XBEACH para cálculo do runup em praias sem estrutura de proteção e do zs e u em praias com estrutura de proteção: “x.grd”

Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036
2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036	2036

Figura A.9 - Ficheiro de input do modelo XBEACH para cálculo do runup em praias sem estrutura de proteção e do zs e u em praias com estrutura de proteção: “y.grd”

Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda
-7.27	-7.35	-7.28	-7.16	-7.15
-7.12	-7.12	-7.01	-6.89	-6.82
-6.64	-6.58	-6.56	-6.54	-6.48
-6.52	-6.46	-6.4	-6.38	-6.41
-6.26	-6.22	-6.16	-6.12	-6.14
-6	-6.02	-6	-5.95	-5.94
-5.79	-5.82	-5.82	-5.82	-5.82
-5.7	-5.6	-5.58	-5.55	-5.53
-5.32	-5.28	-5.29	-5.27	-5.25
-5.14	-5.17	-5.1	-5	-4.98
-4.87	-4.88	-4.81	-4.76	-4.8
-4.52	-4.54	-4.6	-4.58	-4.49
-4.31	-4.23	-4.17	-4.2	-4.21
-4.07	-4.04	-3.98	-3.96	-4
-3.89	-3.81	-3.82	-3.83	-3.85
-3.62	-3.64	-3.6	-3.53	-3.52
-3.38	-3.34	-3.31	-3.35	-3.4
-3.26	-3.19	-3.13	-3.17	-3.19
-3.04	-3	-3	-3	-2.98
-2.94	-2.88	-2.82	-2.78	-2.75
-2.61	-2.57	-2.58	-2.55	-2.46
-2.32	-2.3	-2.33	-2.36	-2.28

Figura A.10 - Ficheiro de input do modelo XBEACH para cálculo do runup em praias sem estrutura de proteção e do zs e u em praias com estrutura de proteção: “bed.dep”

Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda
2.36463	9.386	236	3.3	10
2.40716	9.386	248	3.3	10
2.23457	9.386	244	3.3	10
2.16547	9.386	248	3.3	10
2.00955	9.386	244	3.3	10
2.08933	9.386	248	3.3	10
2.06415	8.1602	244	3.3	10
1.99878	8.1602	248	3.3	10
1.87533	8.1602	244	3.3	10
1.82086	9.386	248	3.3	10
1.76948	9.386	244	3.3	10
1.79107	9.386	248	3.3	10
1.75204	9.386	244	3.3	10
1.80478	9.386	244	3.3	10
1.82758	10.7959	236	3.3	10
1.89103	10.7959	236	3.3	10
1.91185	10.7959	236	3.3	10
1.95527	10.7959	236	3.3	10
1.97085	10.7959	236	3.3	10

Figura A.11 - Ficheiro de input do modelo XBEACH para cálculo do runup em praias sem estrutura de proteção e do zs e u em praias com estrutura de proteção: “jonswap.txt”

Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda
0	1.95			
21600	2.84			
43200	1.43			
64800	2.98			
86400	1.42			
108000	3.38			
129600	1.01			
151200	3.33			
172800	1.09			
194400	3.63			
216000	0.87			
237600	3.39			
259200	1.05			
280800	3.54			
302400	1.04			
324000	3.16			
345600	1.29			
367200	3.18			
388800	1.42			

Figura A.12 - Ficheiro de input do modelo XBEACH para cálculo do runup em praias sem estrutura de proteção e do zs e u em praias com estrutura de proteção: “tide.txt”

Anexo B - Relatório do levantamento de perfis morfológicos do sistema praia-duna da Costa da Caparica

**SISTEMA DE PREVISÃO E ALERTA DE INUNDAÇÕES EM ZONAS COSTEIRAS E
PORTUÁRIAS**

PTDC/AAC-AMB/120702/2010

**Relatório do levantamento de perfis morfológicos do sistema praia-duna da
Costa da Caparica, entre Cova do Vapor e Ribeira Foz do Rego**

6 de dezembro de 2016

abril de 2017

Relatório HIDRALERTA 01/2017

Índice

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	8
3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	9
4 DESCRIÇÃO DA CAMPANHA	10
4.1. Aspetos gerais.....	10
4.2. Condições atmosféricas e da agitação marítima no local.....	10
4.3. Participantes na campanha.....	11
4.4. Características dos equipamentos.....	12
4.5. Procedimentos	13
4.6. Realização dos trabalhos.....	14
5 RESULTADOS.....	24
6 AVALIAÇÃO DA CAMPANHA	26
ANEXO I – PEDIDOS DE AUTORIZAÇÃO	29
ANEXO II – PROCEDIMENTOS PARA UTILIZAR O GPS	31

Índice de figuras

Figura 1 – Panorâmica da zona norte das praias da Costa da Caparica	8
Figura 2 – Duas perspectivas da zona em estudo – área sul da praia de S. João da Caparica e praia do Dragão Vermelho	8
Figura 3 – Localização da área de estudo – Costa da Caparica. (Google Maps)	9
Figura 4 – Condições atmosféricas para os dias 6 de dezembro de 2016 (IPMA)	10
Figura 5 – Condições de maré para o dia 6 de dezembro de 2016 (IPMA)	11
Figura 6 – Previsões de Baixa-mar e Preia-mar (Instituto Hidrográfico)	11
Figura 7 – Receptores GPS (BASE e ROVER) e controlador	12
Figura 8 – Localização da Base	13
Figura 9 – Perfis que foram levantados e pontos de referência	14
Figura 10 – Ponto de Referência CC1	15
Figura 11 – Ponto de Referência CC2	16
Figura 12 – Ponto de Referência CC3	17
Figura 13 – Ponto de Referência CC9	18
Figura 14 – Ponto de Referência CC10	19
Figura 15 – Ponto de Referência CC11	20
Figura 16 – Ponto de Referência CC12	21
Figura 17 – Ponto de Referência CC13	22

Índice de tabelas

Tabela 1 – coordenadas conhecidas da BASE	13
Tabela 2 – Diferenças obtidas entre as coordenadas conhecidas dos pontos de referencia e a medição feita nesses pontos	24
Tabela 3 – Mostra as coordenadas dos pontos levantados	25

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem:

- À Branca Branco, Técnica, a revisão do texto.
- À Dra. Paula Freire do Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras do Departamento de Hidráulica e Ambiente do LNEC, pela preparação e cedência do equipamento GNSS para esta campanha.
- Ao Sr. Carlos Manuel, dono do bar-restaurant PeNu, pela autorização e cedência de espaço no seu restaurante para a colocação do equipamento empregue nesta campanha, em especial a base DGPS.
- Ao Fábio Cardona da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, a ajuda na campanha.

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório tem como objetivo a descrição de todos os detalhes relacionados com o levantamento de perfis morfológicos do sistema praia-duna da Costa da Caparica, entre Cova do Vapor e Ribeira Foz do Rego, nas praias da Costa da Caparica, concelho de Almada. Este trabalho foi realizado no seguimento do Projeto HIDRALERTA - Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias, que foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (contrato PTDC/AAC-AMB/120702/2010). Esta foi a terceira campanha realizada na Costa da Caparica.

Este projeto foi desenvolvido no LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil em conjunto com a Universidade Nova de Lisboa (Faculdade de Ciências e Tecnologia e Faculdade de Ciências Sociais e Humanas) e a Universidade dos Açores (Pólo de Angra do Heroísmo), e tem como objetivo principal desenvolver o Sistema de Previsão e Alerta de Inundações em Zonas Costeiras e Portuárias HIDRALERTA. Em especial, este sistema inclui as seguintes tarefas:

1. Criação de uma ferramenta *user-friendly* que permita:
 - A avaliação do risco por intermédio de mapas de risco, de modo a que estes constituam uma ferramenta de apoio à decisão pelas entidades competentes. Estes mapas são construídos com séries temporais extensas de previsões da agitação marítima ou com cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou a eventos extremos;
 - A avaliação em tempo real de situações de emergência e a emissão de alertas às entidades competentes sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas.
2. Desenvolvimento de um protótipo para o porto da Praia da Vitória e para a zona de Lisboa-Vale do Tejo.

2 OBJETIVOS

Neste relatório descreve-se a campanha realizada no dia 6 de dezembro de 2016 nas praias da Costa da Caparica (Figura 1 e Figura 2), onde se efetuaram levantamentos de perfis morfológicos do sistema praia-duna da Costa da Caparica.



Figura 1 – Panorâmica da zona norte das praias da Costa da Caparica



Figura 2 – Duas perspectivas da zona em estudo – área sul da praia de S. João da Caparica e praia do Dragão Vermelho

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Esta terceira campanha de levantamento de perfis de praia decorreu no dia 6 de dezembro de 2016 (a anterior foi em 10 de outubro de 2014). A área de estudo compreende a zona costeira que vai desde a praia da Cova do Vapor até à Praia do Dragão Vermelho, zona na qual se verificaram em 2014 fortes ocorrências de galgamentos e inundações com um grande impacto de destruição. A área de intervenção centra-se ao longo das praias existentes, onde foram levantados vários perfis transversais às praias com uma extensão de cerca de 50 m e que incluem a zona submersa adjacente. A extensão longilitoral da área levantada neste trabalho é de cerca de 3.5 km (Figura 3).



Figura 3 – Localização da área de estudo – Costa da Caparica. (Google Maps)

4 DESCRIÇÃO DA CAMPANHA

4.1. Aspetos gerais

Nesta campanha participaram elementos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e da Universidade Nova de Lisboa (UNL). Foi utilizado um equipamento GNSS do LNEC. A data e hora escolhidas para a campanha resultaram de uma consulta prévia da previsão das condições meteorológicas e da agitação marítima, da análise das tabelas de marés e da disponibilidade dos elementos da equipa.

Foi solicitada a autorização da realização da campanha à APA e à Capitania do Porto.

4.2. Condições atmosféricas e da agitação marítima no local

Verificaram-se condições atmosféricas excelentes para a execução dos trabalhos (Figura 4).



Figura 4 – Condições atmosféricas para o dia 6 de dezembro de 2016 (IPMA)

As condições de maré fornecidas pelo IPMA são as indicadas na Figura 5.

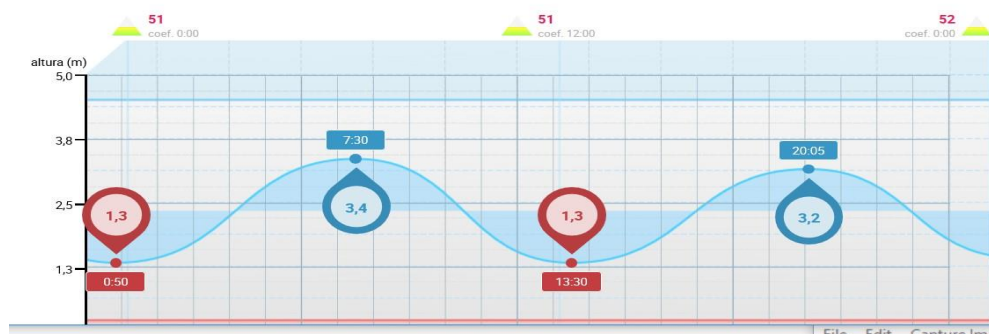


Figura 5 – Condições de maré para o dia 6 de dezembro de 2016 (IPMA)

Comparativamente, as condições de maré fornecidas pelo Instituto Hidrográfico são as indicadas na Figura 6.

Data: 2016-12-05		Porto: Cascais
Hora Legal de Inverno (UTC)	Altura(m)	
Dom, 2016-12-04 23:23	1.23	Baixa-mar
Seg, 2016-12-05 05:46	3.06	Preia-mar
Seg, 2016-12-05 12:02	1.18	Baixa-mar
Seg, 2016-12-05 18:17	2.81	Preia-mar
Ter, 2016-12-06 00:15	1.33	Baixa-mar
Ter, 2016-12-06 06:40	2.98	Preia-mar
Ter, 2016-12-06 13:00	1.25	Baixa-mar
Ter, 2016-12-06 19:19	2.75	Preia-mar

Figura 6 – Previsões de Baixa-mar e Preia-mar (Instituto Hidrográfico)

4.3. Participantes na campanha

A campanha teve a participação de uma equipa científica constituída por Investigadores, Professores e Bolseiros de investigação do LNEC e da FCT-UNL, nomeadamente:

- Eng.^a Conceição Juana Fortes (Investigadora do LNEC)
- Pedro Poseiro - Bolseiro de doutoramento do LNEC
- Prof. José Carlos Ferreira da UNL
- Bruno Pires da UNL
- Fábio Cardona da UNL

4.4. Características dos equipamentos

O equipamento utilizado foi constituído por um equipamento GNSS diferencial (unidade móvel, unidade base, bastão), pertencente ao Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), e vários acessórios, abaixo listados.

- 1 recetor GPS – BASE (+ antena maior) (Figura 7);
- 1 recetor GTP – ROVER (+ antena menor) (Figura 7);
- 1 controlador (com caneta) (Figura 7);
- 1 base nivelante;
- 1 bastão regulável para 1.83 m ou 2 m;
- 1 tripé;
- 1 fita métrica

- 3 adaptadores para suporte da controladora;
- base nivelante para fixar a base no tripé (+ parafuso);
- 2 carregadores para BASE e ROVER;
- 1 recarregador para o controlador;
- 1 cabo de ligação USB;
- 1 cabo de ligação série;
- 1 recarregador para isqueiro do carro.



Figura 7 – Receptores GPS (BASE e ROVER) e controlador

4.5. Procedimentos

A presente campanha foi efetuada conforme abaixo descrito.

08:30

- Saída do LNEC.

09:10

- Chegada ao local. Estabeleceu-se como ponto de encontro o bar PeNu, local de instalação da BASE.
- Montagem da BASE no ponto de coordenadas conhecidas, localizada na cobertura do bar PeNu (Figura 8 e Tabela 1).



Figura 8 – Localização da Base

Tabela 1 – coordenadas conhecidas da BASE

m_corr	p_corr	H_real_corr	Nome
-111688.245	-97236.230	65.232	Base

- O procedimento de levamento adotado foi o RTK. A metodologia de utilização do GPS (modo RTK) está descrita no Anexo II. Se se verificar que o ponto onde se instala a BASE é bem identificável e não tenha sofrido deslocamentos, não será necessário fazer o levantamento com a BASE para posterior correção com a estação de referência mais próxima. Desta forma, a BASE corrige diretamente as coordenadas obtidas em cada instante, uma vez que as coordenadas conhecidas do ponto (Tabela 1) são inseridas diretamente na caderneta.

10:07 (PM: 2.98 m, às 06.40)

- Iniciado o processo de levantamentos topo-batimétricos dos perfis no sector norte (ROVER), mais concretamente na Praia da Cova do Vapor.
- Continuação dos trabalhos até chegar à Praia do Dragão Vermelho (ROVER).

13:02 (BM: 1.25 m, às 13:00)

- Terminados os levantamentos topo-batimétricos. Regresso ao LNEC.

4.6 Realização dos trabalhos

No decurso da campanha foram efetuados 12 perfis transversais (levantamentos topo batimétricos) e adquiridos dados em posição fixa dos pontos de referência, como mencionado na Figura 9.

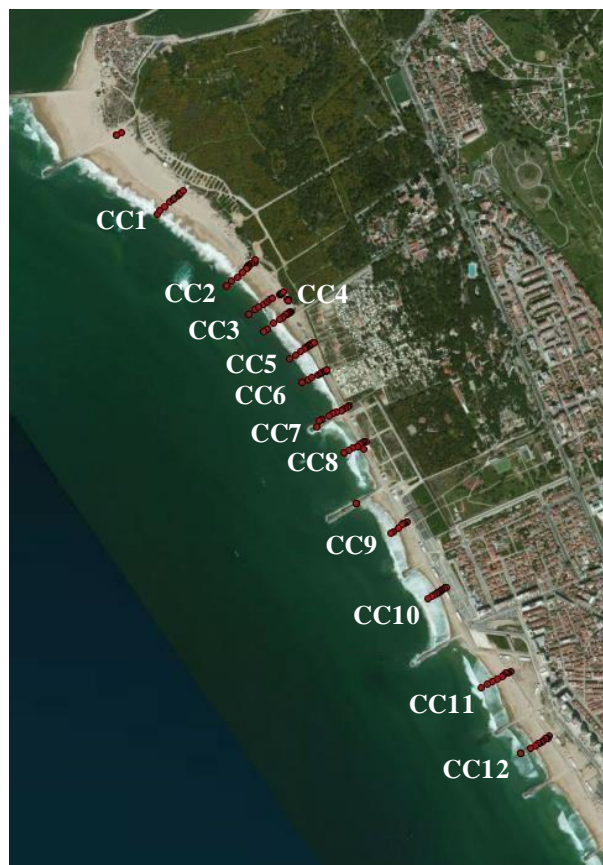


Figura 9 – Perfis que foram levantados e pontos de referência

Estes mesmos perfis já haviam sido levantados numa campanha levada a cabo pelo Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa em 2010.

As Figuras 10 a 17 apresentam a descrição de cada ponto de referência, as suas coordenadas, bem como algumas fotografias orientadoras (FCUL).



Figura 10 – Ponto de Referência CC1

Costa da Caparica	CC2(=SP07)
-------------------	------------

Estabelecido por: DEGGE FCUL (Carlos Antunes)	Data: 2010/01/18
Qualidade: Planimetria – II, Altimetria – I, Monumentação - I	
Objetivo: Ponto de Referencia	
Descrição: Spit no final do esporão, quem limita a sul a Praia de São João da Caparica	

M	P	H
-97004.9348	-112340.8730	3.4890

Sistemas de Coordenadas: PT-TM | Datum Vertical: NMM Cascais 1938 | medido em 2010/11/30

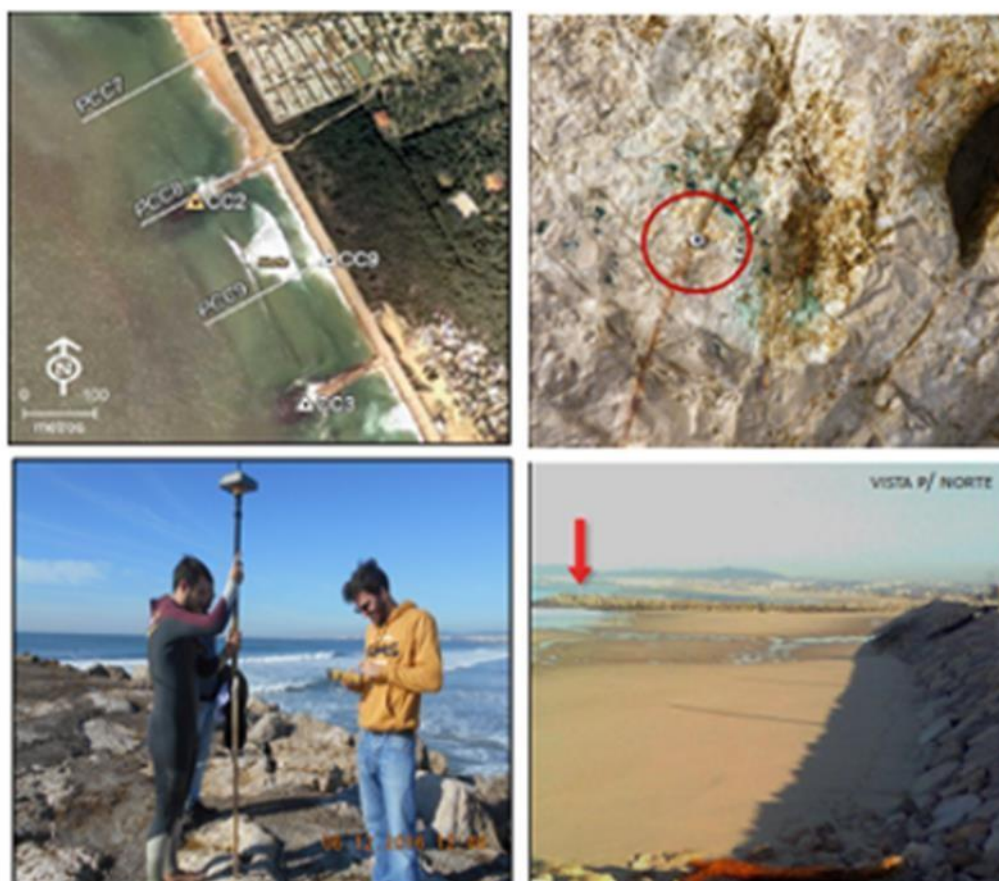


Figura 11 – Ponto de Referência CC2

Costa da Caparica	CC3(=SP6)
-------------------	-----------

Estabelecido por: DEGGE FCUL (Carlos <u>Antunes</u>)	Data: 2010/01/18
Qualidade: Planimetria – II, Altimetria – I, Monumentação - I	
Objetivo: Ponto de Referência	
Descrição: Spit no esporão 6. Aproximadamente na secção central do mesmo, em frente ao bar “Sentido do Mar”	

M	P	H
-96850.0367	-112640.9367	3.0490

Sistemas de Coordenadas: PT-TM | Datum Vertical: NMM Cascais 1938 | medido em 2010/11/30



Figura 12 – Ponto de Referência CC3

Costa da Caparica	CC9(=SP67)
-------------------	------------

Estabelecido por: DEGGE FCUL (Carlos Antunes)

Data: 2010/01/18

Qualidade: Planimetria – II, Altimetria – I, Monumentação - I

Objetivo: Ponto de Referencia + Cabeça de Perfil (PCC9)

Descrição: Spit num dos blocos de pedra do molhe aderente, entre o esporão 7 e o esporão 6, em frente ao Restaurante “Tia Bé”

M	P	H
-96817.2461	-112426.5832	6.3610

Sistemas de Coordenadas: PT-TM | Datum Vertical: NMM Cascais 1938 | medido em 2010/11/30

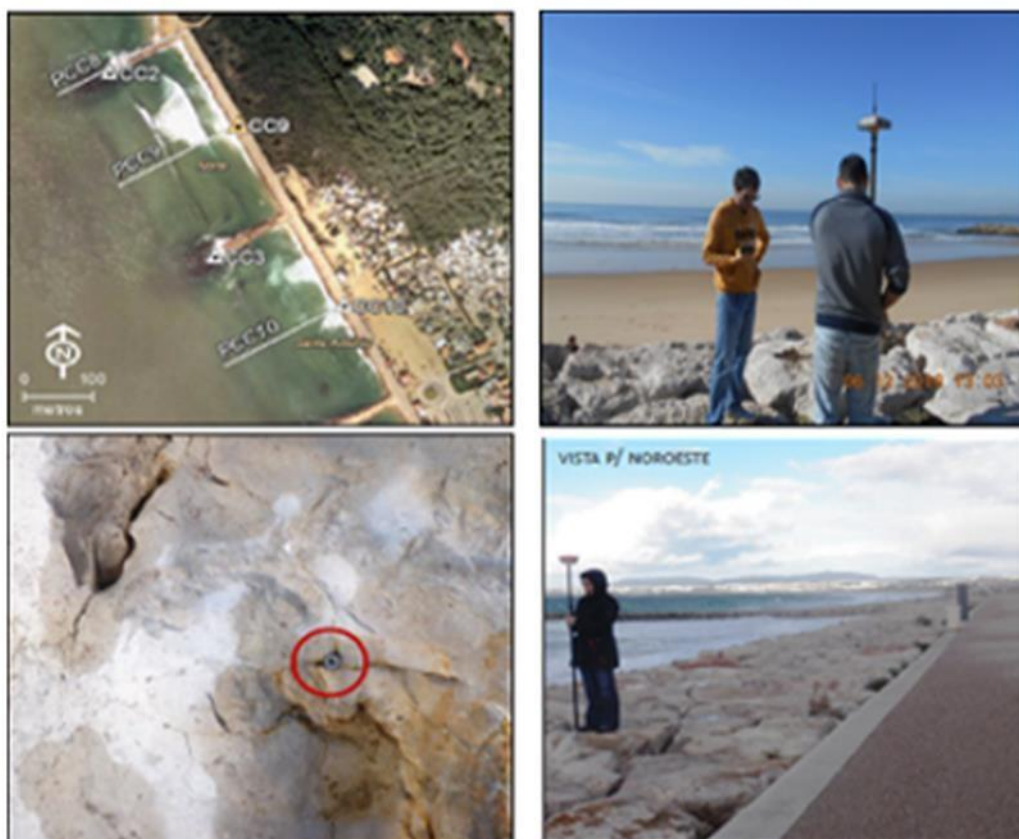


Figura 13 – Ponto de Referência CC9

Costa da Caparica	CC10(=SP56)
-------------------	-------------

Estabelecido por: DEGGE FCUL (Carlos Antunes)	Data: 2010/01/18
Qualidade: Planimetria – II, Altimetria – I, Monumentação - I	
Objetivo: Ponto de Referencia + Cabeça de Perfil (PCC10)	
Descrição: Spit num dos blocos do molhe aderente, entre o esporão 6 e o esporão, próximo das escadas de acesso ao areal e em frente do restaurante-bar “Marcelino”	

M	P	H
--96661.3122	-112720.5111	6.3960

Sistemas de Coordenadas: PT-TM | Datum Vertical: NMM Cascais 1938 | medido em 2010/11/30



Figura 14 – Ponto de Referência CC10

Costa da Caparica	CC11(=SP45)
-------------------	-------------

Estabelecido por: DEGGE FCUL (Carlos Antunes)	Data: 2010/01/18
Qualidade: Planimetria – II, Altimetria – I, Monumentação - I	
Objetivo: Ponto de Referência \pm Cabeça de Perfil (PCC11)	
Descrição: Spit num dos blocos do molhe, entre o esporão 5 e o esporão 4, junto das escadas de acesso ao areal e do “2º Barbas”	

M	P	H
-96519.9716	-112985.7927	6.3130

Sistemas de Coordenadas: PT-TM | Datum Vertical: NMM Cascais 1938 | medido em 2010/11/30



Figura 15 – Ponto de Referência CC11

Costa da Caparica	CC12(=SP34)
-------------------	-------------

Estabelecido por: DEGGE FCUL (Carlos Antunes)

Data: 2010/01/18

Qualidade: Planimetria – II, Altimetria – I, Monumentação - I

Objetivo: Ponto de Referência + Cabeça de Perfil (PCC12)

Descrição: Spit num dos blocos do molho aderente, entre o esporão 4 e o esporão3, a 50 m do restaurante-bar “Tarquínio”

M	P	H
-96265.2537	-113311.9021	5.9730

Sistemas de Coordenadas: PT-TM | Datum Vertical: NMM Cascais 1938 | medido em 2010/11/30



Figura 16 – Ponto de Referência CC12

Costa da Caparica	CC13(=SP23)
-------------------	-------------

Estabelecido por: DEGGE FCUL (Carlos Antunes)	Data: 2010/01/18
Qualidade: Planimetria – II, Altimetria – I, Monumentação - I	
Objetivo: Ponto de Referência \pm Cabeça de Perfil (PCC13)	
Descrição: Spit num dos blocos aderentes, entre o esporão 3 e o esporão 2, próximo das escadas de acesso a praia e do bar “Kailua” e “Samadi Surf School”	

M	P	H
-96111.4791	-113570.0182	5.9580

Sistemas de Coordenadas: PT-TM | Datum Vertical: NMM Cascais 1938 | medido em 2010/11/30



Figura 17 – Ponto de Referência CC13

A partir destes pontos de referência será possível fazer o controlo do levantamento, no que diz respeito a possíveis deslocações. Desta forma, será realizado o levantamento destes pontos para uma comparação dos resultados obtidos com as coordenadas já conhecidas dos mesmos.

5 RESULTADOS

Para obtenção dos resultados finais foi necessário corrigir a posição dos pontos levantados, uma vez que se verificou um deslocamento sistemático dos mesmos e relação aos pontos de referência, tal como consta na Tabela 2.

Tabela 2 – Diferenças obtidas entre as coordenadas conhecidas dos pontos de referencia e a medição feita nesses pontos

	Referência			Medido					
Ponto	M	P	H	M	P	H	dM	dP	dH
CC1	- 97757.9342	- 111173.9482	6.025	- 97775.518	- 111181.523	5.751	17.5838	7.5748	0.274
CC2	- 97004.9348	- 112340.8730	3.489	-97759.38	- 111173.172	6.342	754.4452	-1167.701	-2.853
CC3	- 96850.0367	- 112640.9367	3.049	- 96850.305	- 112639.395	5.748	0.2683	-1.5417	-2.699
CC9	- 96817.2461	- 112426.5832	6.361	- 96817.342	- 112424.999	6.377	0.0959	-1.5842	-0.016
CC10	- 96661.3122	- 112720.5111	6.396	- 96661.573	- 112718.865	6.406	0.2608	-1.6461	-0.01
CC11	- 96519.9716	- 112985.7927	6.313	- 96520.229	- 112984.123	6.296	0.2574	-1.6697	0.017
CC12	- 96265.2537	- 113311.9021	5.973	- 96265.474	- 113310.336	5.936	0.2203	-1.5661	0.037
CC13	- 96111.4791	- 113570.0182	5.980	- 96111.654	- 113568.399	5.89	0.1749	-1.6192	0.09
						Média	96.66332	-146.21915	-0.645

Tabela 3 – Mostra as coordenadas dos pontos levantados

-97236.2	-111688	11.232	-97100.4	-111886	9.098	-96652	-112714	6.809	-96100.8	-113562	6.071
-97239.4	-111680	8.405	-97102.2	-111886	8.999	-96652	-112714	6.79	-96108.4	-113568	5.909
-97239.4	-111680	8.404	-97105.3	-111888	6.963	-96659.7	-112717	6.395	-96112.7	-113570	5.913
-97254.2	-111695	7.357	-97109.7	-111890	6.744	-96664.3	-112719	6.294	-96114.7	-113573	4.231
-97261.1	-111700	7.211	-97113.8	-111892	6.7	-96669.2	-112727	1.385	-96126.6	-113580	3.243
-97263.2	-111702	7.111	-97113.8	-111892	6.692	-96686.9	-112738	0.405	-96131.7	-113583	3.123
-97266.5	-111705	5.47	-97118.5	-111896	3.424	-96705.9	-112751	-0.119	-96142.9	-113589	3.2
-97267.6	-111706	5.665	-97128.3	-111902	2.941	-96716.4	-112758	-0.354	-96145.7	-113591	2.486
-97270.1	-111709	4.422	-97135.7	-111908	2.658	-96503	-112976	6.784	-96156.3	-113597	1.289
-97271.9	-111711	3.351	-97144.3	-111914	2.119	-96501.8	-112976	2.857	-96177.3	-113608	0.305
-97274.6	-111714	3.054	-97167.4	-111930	1.016	-96498.6	-112974	2.678	-96213.2	-113627	-0.522
-97289.6	-111728	2.53	-97195.3	-111950	0.198	-96510.5	-112979	6.579	-96212.7	-113627	-0.817
-97307.6	-111744	1.615	-97207.5	-111960	-0.05	-96518.1	-112984	6.392	-97036.4	-112021	4.943
-97330.9	-111763	0.701	-97056.8	-112162	-0.063	-96522.3	-112987	6.33	-97033.7	-112019	6.287
-97352.5	-111780	0.092	-97034.1	-112152	0.492	-96525	-112988	4.562	-97029.7	-112017	6.343
-97621.1	-111494	0.468	-97018.1	-112144	1.065	-96529.4	-112991	4.047	-97027.8	-112016	5.641
-97608.9	-111482	0.468	-96993.4	-112133	2.703	-96533.3	-112993	3.533	-97025.5	-112015	4.87
-97591.4	-111467	1.216	-96986.8	-112129	3.146	-96533.5	-112993	3.21	-97022.6	-112014	4.643
-97572.1	-111450	2.616	-96979.2	-112125	4.018	-96539.8	-112997	1.987	-97021.1	-112013	4.012
-97557.4	-111438	2.944	-96970.7	-112120	7.047	-96546.9	-113000	1.043	-97017.4	-112011	3.648
-97553.6	-111434	3.074	-96966.6	-112118	4.962	-96559.6	-113007	0.225	-97012.1	-112009	3.813
-97537.7	-111422	4.503	-96963.4	-112118	4.584	-96574.4	-113015	-0.276	-97009.1	-112008	5.253
-97531.7	-111417	5.479	-96961	-112116	4.575	-96251.4	-113305	6.045	-97041.1	-112026	3.994
-97529.9	-111415	5.319	-96960.9	-112117	4.592	-96261.2	-113310	5.901	-97048.6	-112031	3.168
-97528.1	-111414	6.222	-96810.7	-112396	3.506	-96265.3	-113312	5.742	-97063.6	-112041	1.959
-97519.3	-111406	6.575	-96817.7	-112399	6.595	-96267.4	-113314	4.239	-97083.8	-112054	0.672
-97264.2	-111890	-0.059	-96825.8	-112405	6.403	-96278.2	-113321	4.101	-97109	-112071	-0.016
-97240.2	-111873	0.56	-96830	-112406	6.355	-96285.6	-113326	3.688	-96874.8	-112256	2.879
-97228	-111865	1.022	-96835.1	-112409	2.713	-96305.4	-113336	3.263	-96874.8	-112256	2.877
-97208.7	-111853	1.521	-96844.6	-112414	1.625	-96322.5	-113344	1.306	-96882	-112259	3.327
-97191.8	-111845	2.092	-96844.6	-112414	1.623	-96343.6	-113356	0.196	-96889.1	-112266	6.571
-97180.1	-111837	2.582	-96861.9	-112423	0.57	-96369.5	-113370	-0.498	-96899.8	-112271	6.515
-97170.2	-111832	2.778	-96879.4	-112432	0.033	-96982.5	-112309	-0.003	-96907.1	-112274	3.191
-97142.6	-111817	4.565	-96898.4	-112440	-0.336	-96982.5	-112309	-0.007	-96924.6	-112281	2.261
-97139.5	-111817	4.943	-97132	-111809	5.576	-96991	-112311	-0.245	-96937	-112286	1.582
-97137.4	-111813	5.268	-97127.9	-111806	7.278	-97005.2	-112339	3.486	-96954.9	-112293	0.83
									-97005.2	-112339	3.494

6 AVALIAÇÃO DA CAMPANHA

Os objetivos da campanha foram totalmente cumpridos, com êxito.

LNEC, abril de 2017

Autores:



Bruno Pires

Aluno de mestrado do curso de Engenharia do Ambiente UNL



Pedro Poseiro

Doutorando no IST



José Carlos Ferreira

Professor da UNL



Conceição Juana Fortes

Investigadora Principal do LNEC

ANEXO I – PEDIDOS DE AUTORIZAÇÃO



Exma. Senhora Administradora
Arquiteta Pais. Gabriela Moniz
ARH Tejo - Administração da Região Hidrográfica do
Tejo e Oeste - PA - Agência Portuguesa do Ambiente

Assunto: solicitação de autorização para realização de campanha de campo para a obtenção de perfis de praia entre a Cova do Vapor (União das Freguesias da Caparica e Trafaria) e a foz da Ribeira Foz do Rego / Praia da Rainha (Freguesia da Costa da Caparica) nos dias 06, 07, 13 e 14 de dezembro de 2016

Exma. Senhora Arquiteta

Vimos por este meio solicitar autorização para realização de uma campanha de campo para a obtenção de perfis de praia entre a praia da Cova do Vapor (União das Freguesias da Caparica e Trafaria) e a foz da Ribeira Foz do Rego / Praia da Rainha (Freguesia da Costa da Caparica) nos dias 06, 07, 13 e 14 de dezembro de 2016

O levantamento de perfis de praia é essencial para apoiar a investigação sobre o risco de galgamento costeiro e consequente inundação que o LNEC e a FCT NOVA levam a cabo nas referidas áreas. Os perfis (num total de 20) serão efectuados entre a linha máxima de baixa-mar e a primeira depressão interdunar (sistema de dunas) ou no topo da obra aderente. Será utilizado um GPS e uma estação de receção, portáteis.

A Universidade Nova de Lisboa e o LNEC comprometem-se a:

- não interferir com o normal movimento e bem-estar dos utentes da zona
- preservar o ambiente envolvente
- garantir todas condições de segurança aos investigadores que irão efetuar o trabalho.

Desde já agradecemos toda a atenção e aproveitamos a oportunidade para enviar os melhores cumprimentos.

Informamos que também solicitamos autorização à Capitania de Lisboa.

Campus da Caparica, 2 de dezembro de 2016

Pela Equipa do Projeto

José Carlos Ferreira
Docente e Investigador
DCEA/FCT/UNL

Exmo. Senhor Capitão do Porto
Capitania do Porto de Lisboa
Autoridade Marítima Nacional
Ministério da Defesa Nacional

Assunto: solicitação de autorização para realização de campanha de campo para a obtenção de perfis de praia entre a Cova do Vapor (União das Freguesias da Caparica e Trafaria) e a foz da Ribeira Foz do Rego / Praia da Rainha (Freguesia da Costa da Caparica) nos dias 06, 07, 13 e 14 de dezembro de 2016

Exmo. Senhor Capitão do Porto

Vimos por este meio solicitar autorização para realização de uma campanha de campo para a obtenção de perfis de praia entre a praia da Cova do Vapor (União das Freguesias da Caparica e Trafaria) e a foz da Ribeira Foz do Rego / Praia da Rainha (Freguesia da Costa da Caparica) nos dias 06, 07, 13 e 14 de dezembro de 2016

O levantamento de perfis de praia é essencial para apoiar a investigação sobre o risco de galgamento costeiro e consequente inundação que o LNEC e a FCT NOVA levam a cabo nas referidas áreas. Os perfis (num total de 20) serão efectuados entre a linha máxima de baixa-mar e a primeira depressão interdunar (sistema de dunas) ou no topo da obra aderente. Será utilizado um GPS e uma estação de receção, portáteis.

A Universidade Nova de Lisboa e o LNEC comprometem-se a:

- não interferir com o normal movimento e bem-estar dos utentes da zona
- preservar o ambiente envolvente
- garantir todas condições de segurança aos investigadores que irão efetuar o trabalho.

Desde já agradecemos toda a atenção e aproveitamos a oportunidade para enviar os melhores cumprimentos.

Informamos que também solicitamos autorização APA/ARH Tejo.

Campus da Caparica, 2 de dezembro de 2016

Pela Equipa do Projeto



José Carlos Ferreira
Docente e Investigador
DCEA/FCT/UNL

ANEXO II – PROCEDIMENTOS PARA UTILIZAR O GPS

(documento anotado do original fornecido pela Dra. Paula Freire do NEC)

DGPS Topcon HiperPro

Equipamento

1 receptor GPS – BASE (+ antena maior)
1 receptor GPS – ROVER (+ antena menor)
1 controladora (com caneta)
1 base nivelante
1 bastão regulável para 1.83 m ou 2 m
1 tripé
1 fita métrica
Material acessório: 3 adaptadores para suporte da controladora; base nivelante para fixar a base no tripé (+ parafuso); 2 recarregadores para BASE e ROVER; 1 recarregador para a controladora; 1 cabo de ligação USB; 1 cabo de ligação série; 1 recarregador para isqueiro do carro.

Procedimento no campo (MODO RTK)

1. Montagem da BASE

Montar o tripé.

Posicionar o prisma, centrar (relativamente ao ponto de controlo no solo) e nivelar o tripé.

Montar a BASE, com a antena ligada, no tripé (ANTENA MAIOR).

Ligar a BASE no botão RESET (ou no botão ON se estiver em STAND-BY).

O led STAT acende intermitentemente (verde e vermelho) indicando os satélites (O N° VERDES ENTRE VERMELHOS INDICA O NÚMERO DE SATÉLITES – 4 SATÉLITES SÃO SUFICIENTES) que está a apanhar.

2. Criação de trabalho na controladora

Ligar a controladora.

Entrar no programa TOPSURV.

NOVO (para criar novo trabalho) >>:

Indicar o nome do trabalho e as iniciais do operador.

PROX >> Conf. Top.:

- para efectuar um levantamento “simples”, escolher o modo RTK;

PROX>> Sistema Coord

- Escolher a projecção >> DATUM 73 ou **ETRS89**

- Geoid < nenhum>

(se não se escolheu nenhuma projecção, escolher o Datum, p.e WGS89)

PROX>> Unidades m e DMS

PROX>> Display

Coord Tipo: Quad

FIM (grava o trabalho e abre a janela de trabalho)

Abriu a janela “Mode”: barra de menus Trb > Mode, e verificar que o Bluetooth está selecionado.


3. Configuração da base

Carregar no ícon da ligação Bluetooth (topo da janela direita) e escolher BASE.

Esperar o sinal sonoro e verificar que o ícon fica verde (a ligação da BASE foi estabelecida).

Ir ao menu TOPO e escolher iniciar BASE.

Dar o nome do ponto de controlo onde está a base posicionada.

Introduzir a altura da BASE em metros (média de 3 medições do solo, no ponto de controlo, ao topo da marca na BASE). 

Escolher altura inclinada.

Posicionamento da base:

- Opção 1: introduzir as coordenadas conhecidas do ponto de controlo (base), Tabela 1.

Carregar no “iniciar base”.

Esperar a mensagem a dizer que a base foi iniciada com sucesso (só neste caso se deve proceder à configuração do ROVER, caso contrário repetir o procedimento).

O led da BASE (RX) deve piscar verde e vermelho (indica que a ligação diferencial está estabelecida).

No caso do modo RTK PP a led verde REC da BASE pisca com a frequência escolhida para o ficheiro RINEX (em geral 1Hz).

4. Montagem do ROVER

Montar a antena no receptor (ANTENA MENOR).

Montar o receptor no bastão regulável (fibra de carbono) ou no bastão da mochila: o receptor deve ficar sempre acima da cabeça do utilizador.

Medir a altura até a base do receptor.

A controladora pode eventualmente ser fixada ao bastão, e deve ser mantida durante todo o levantamento a uma distância razoável do receptor para manter a ligação Bluetooth.

Ligar o ROVER

Os led da BASE e do ROVER devem ter o seguinte comportamento: o led BATT deve piscar verde (bateria carregada); o led RX deve piscar verde e vermelho (significa que há comunicação entre a BASE e o ROVER e há correcção diferencial).

5. Configuração do ROVER

Carregar no ícon da ligação Bluetooth (topo da janela direita) e escolher ROVER.

Esperar o sinal sonoro e verificar que o ícon fica verde (significa que a ligação do ROVER foi estabelecida).

Se o STATUS estiver em verde fixo (fixed, só assim grava os pontos), pode-se começar o levantamento de pontos.

6. Levantamento de pontos

NOTA: a controladora pode estar até cerca de 10 m do receptor

Levantamento “ponto a ponto”:

Ir ao menu TOPO + Levantamento.

Introduzir a altura MEDIDA da base do receptor.

Escolher vertical.

Introduzir o nome e o código do próximo ponto a levantar (não é obrigatório, pois a numeração vai sendo automaticamente incrementada). Se um código for introduzido para um determinado ponto (por ex., o primeiro ponto de um perfil), este será assumido para os pontos seguintes, a menos que se altere ou apague.

Fixar o receptor no ponto a levantar e posicioná-lo na vertical (com bastão verificar no nível).

Carregar no “START” ou premir o botão azul “ENT”.

Esperar pelo sinal sonoro, o ponto é gravado automaticamente.

Levantamento AUTOTOPO

Este modo permite gravar automaticamente, para o modo RTK, pontos em função da distância ou de tempo.

Ir ao menu TOPO + autotopo.

Introduzir a altura MEDIDA da base do receptor.

Escolher vertical.

Introduzir o nome e o código dos próximos ponto a levantar (não é obrigatório, pois a numeração vai sendo automaticamente incrementada). Todos os pontos terão o mesmo código e o nome vai incrementando-se. (ACONSELHA-SE A UTILIZAÇÃO DE *UNDERSCORE* ANTES DA NUMERAÇÃO INCREMENTADA)

Para iniciar a medição carregar no START,

7. Visualizar os pontos

No TOPO + DADOS OU MAPA

Se o ficheiro está fechado:

TRB + abrir

EDT – editar pontos

8. Terminar

No menu TRAB

Saída

Grava automaticamente todos os pontos.

Desligar os recetores. (PARA DESLIGAR OS RECETORES (ROVER E BASE) CARREGAR

CONTINUAMENTE NOS DOIS BOTÕES AO MESMO TEMPO ATÉ ACENDER AS DUAS

LUZES A VERMELHO CLARO, ESPERAR ATÉ MUDAR PARA VERMELHO ESCURO E SÓ

DEPOIS LARGAR)

9. Exportar pontos

No trabalho pretendido,

EXPORTA para ficheiro (escolher o tipo de ficheiro, p.e. txt)

Escolher a diretoria para onde se grava e o nome do ficheiro (que pode ser para a porta USB).

Anexo C – Caracterização da Agitação Marítima

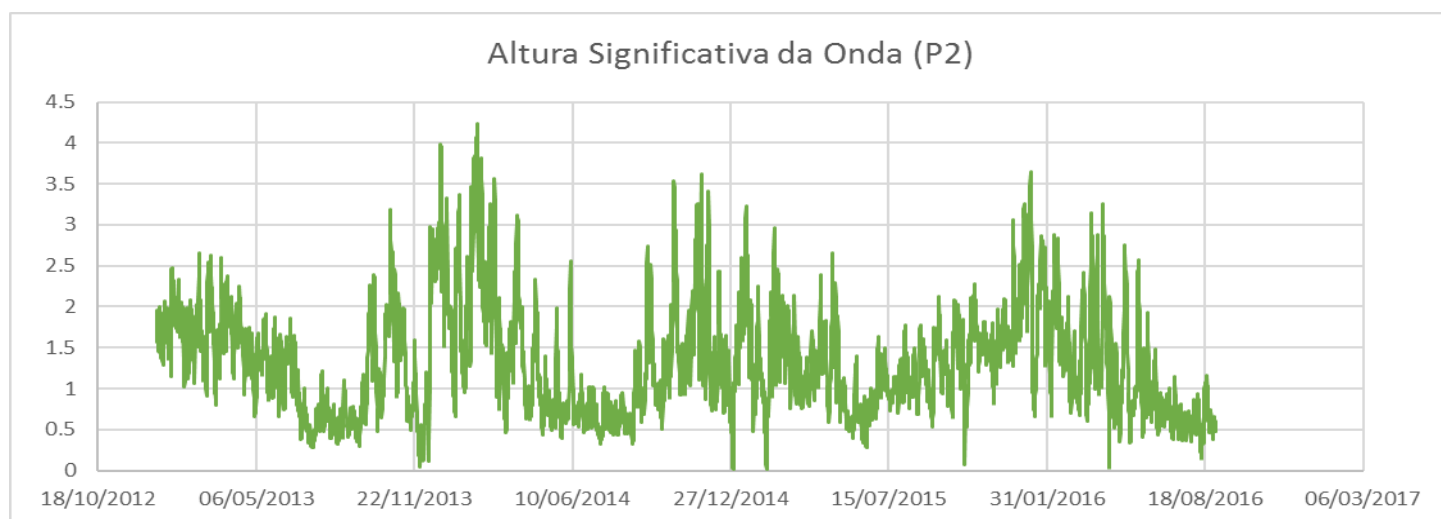


Figura C.1 – Altura de onda significativa no ponto P2

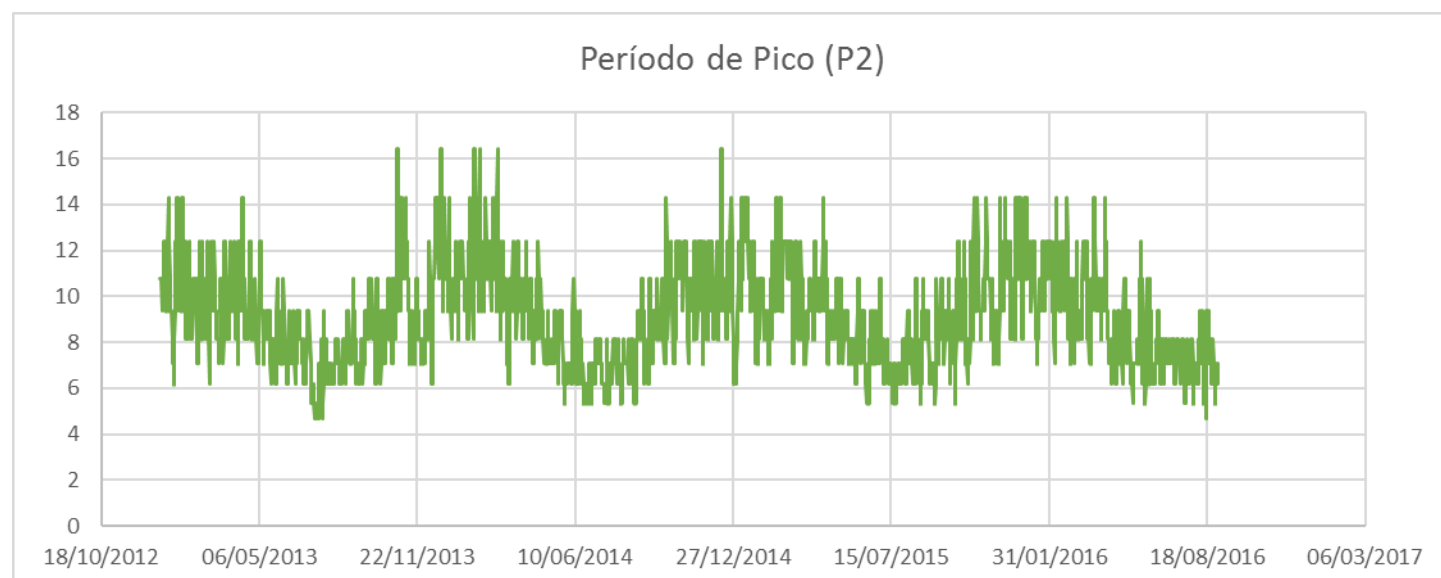


Figura C.2 – Período de pico no ponto P2

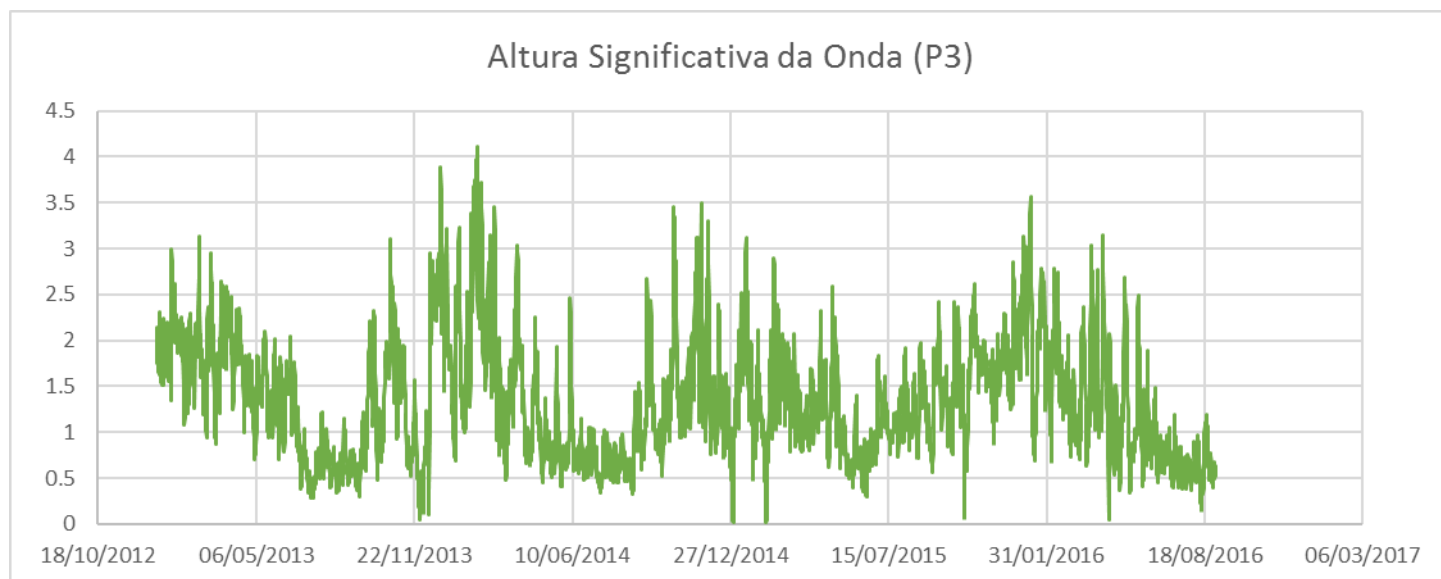


Figura C.3 – Altura de onda significativa no ponto P3

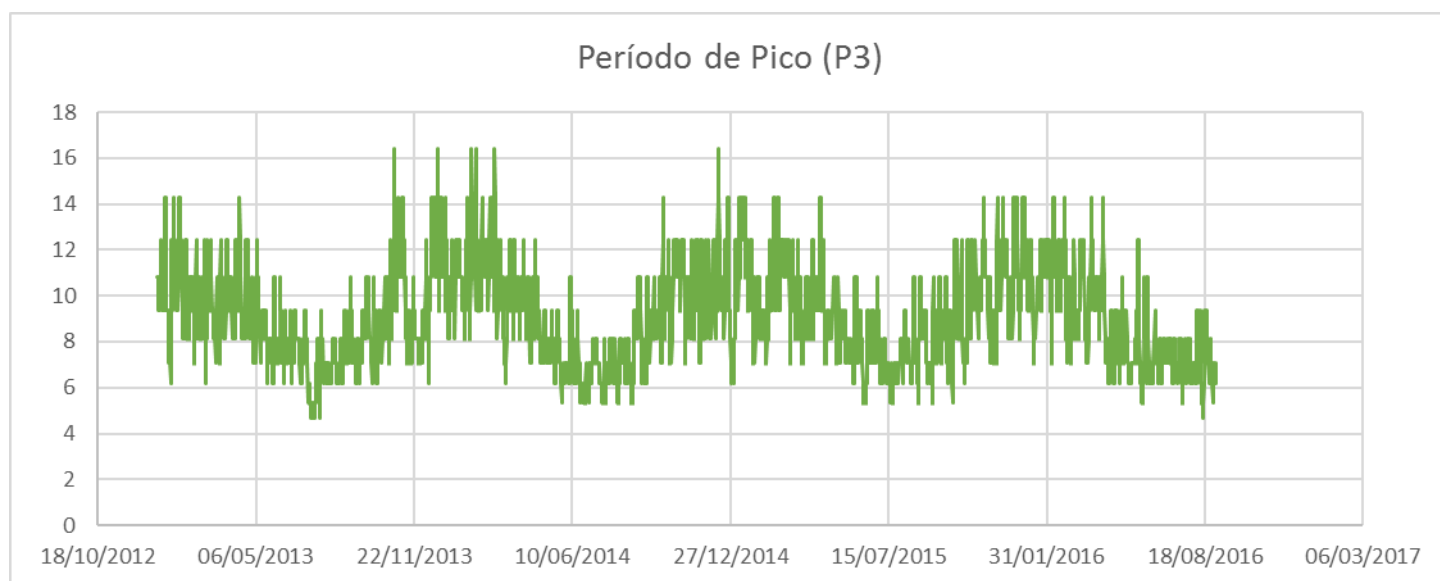


Figura C.4 – Período de pico no ponto P3

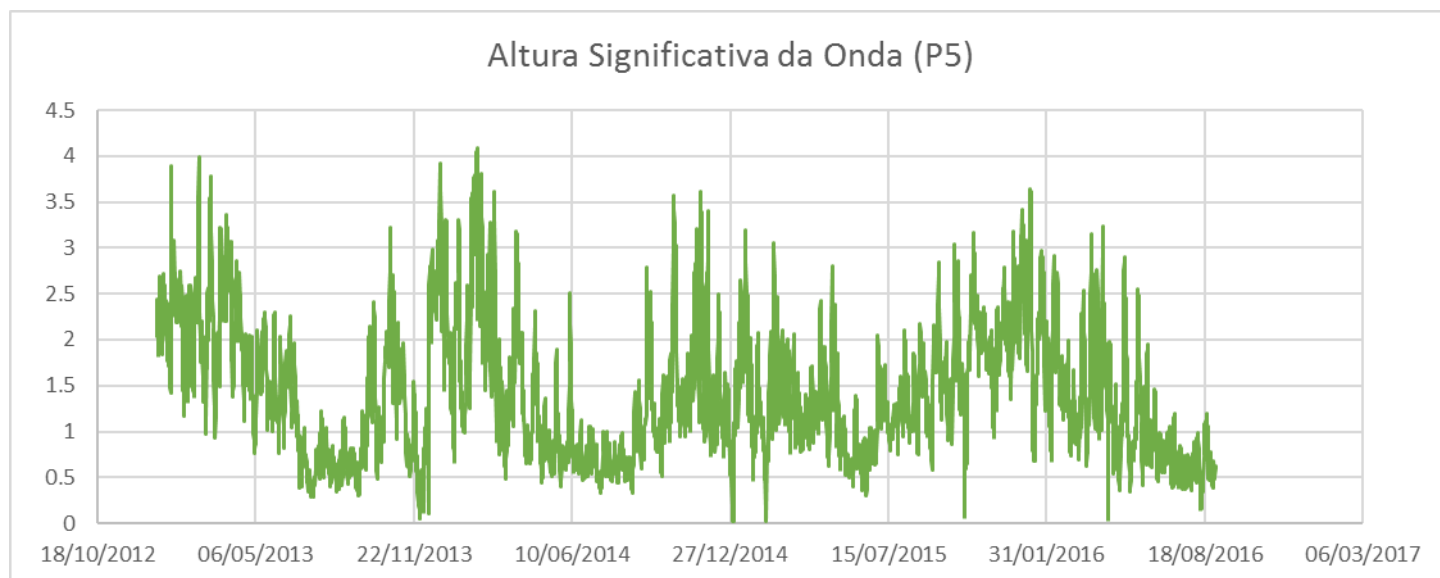


Figura C.5 – Altura de onda significativa no ponto P5

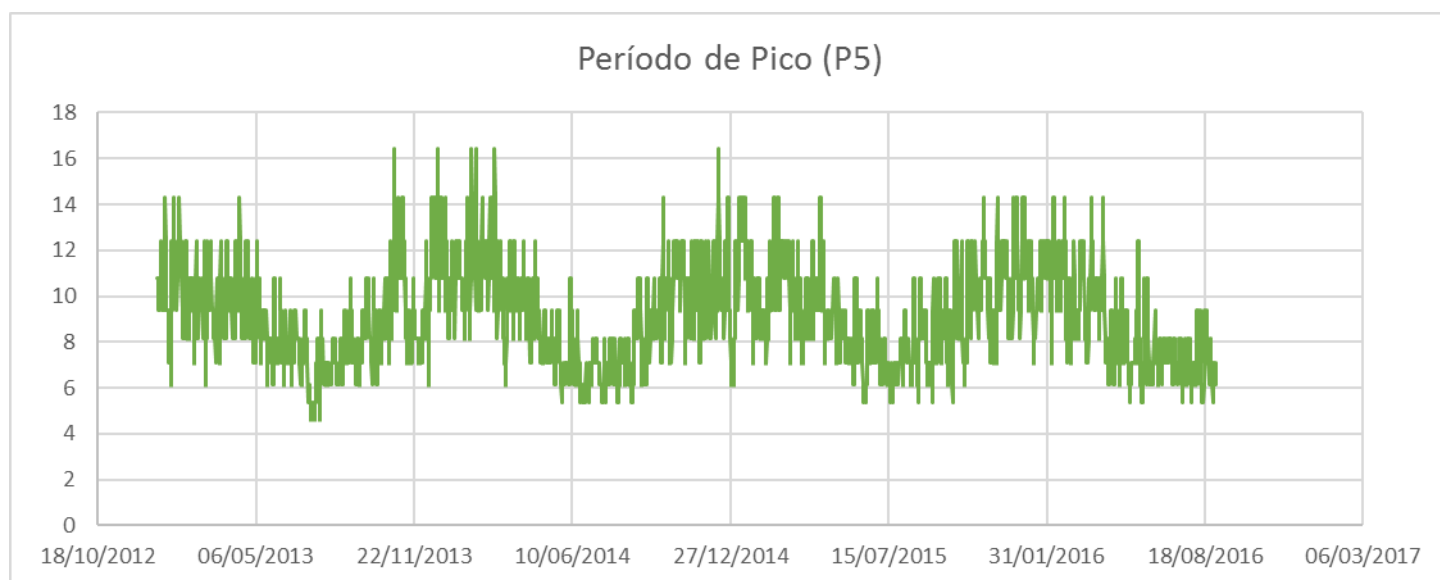


Figura C.6 – Período de pico no ponto P5

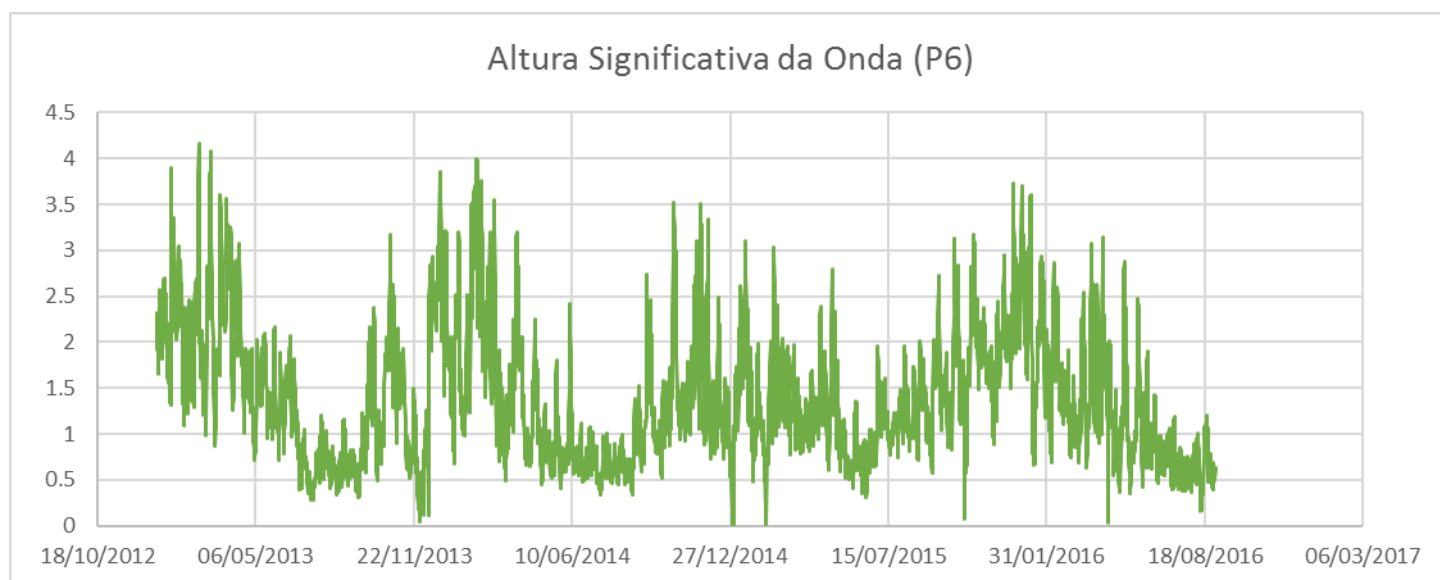


Figura C.7 – Altura de onda significativa no ponto P6

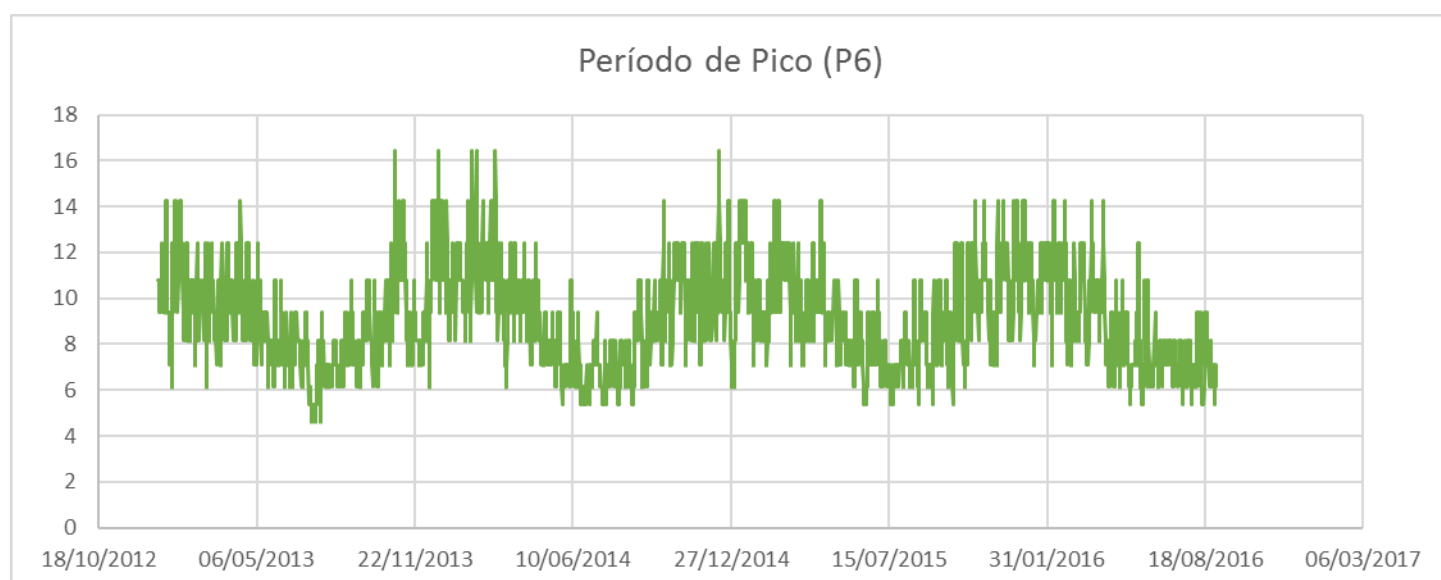


Figura C.8 – Período de pico no ponto P6

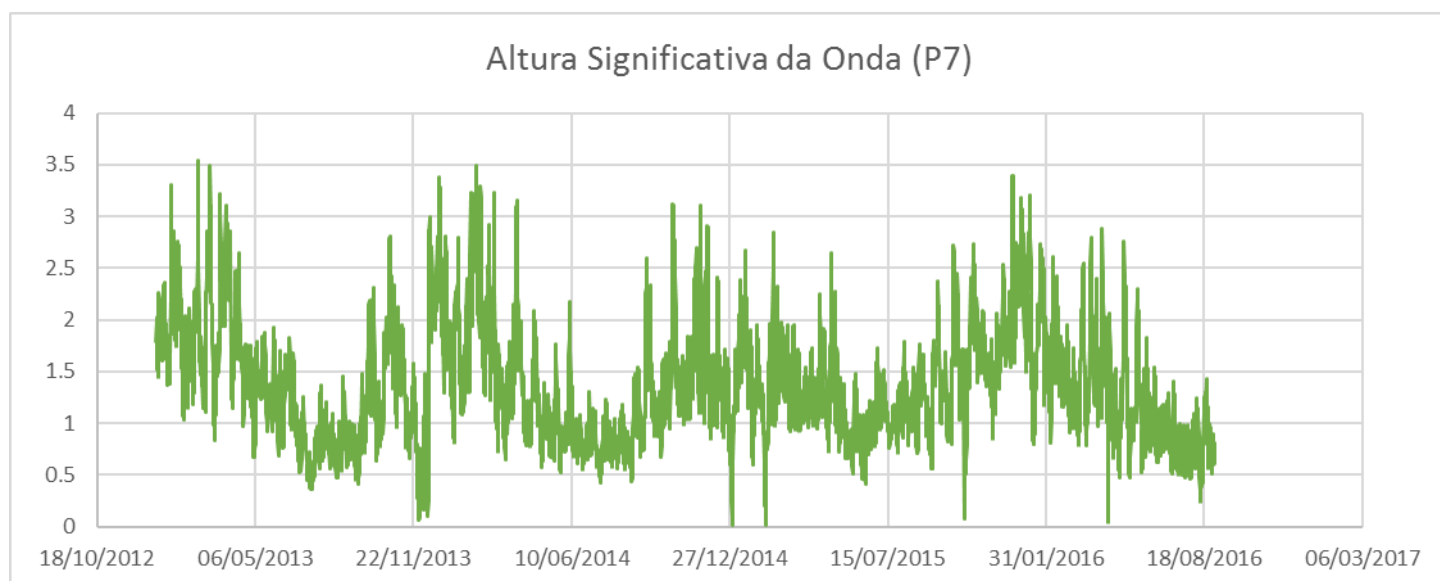


Figura C.9 – Altura de onda significativa no ponto P7

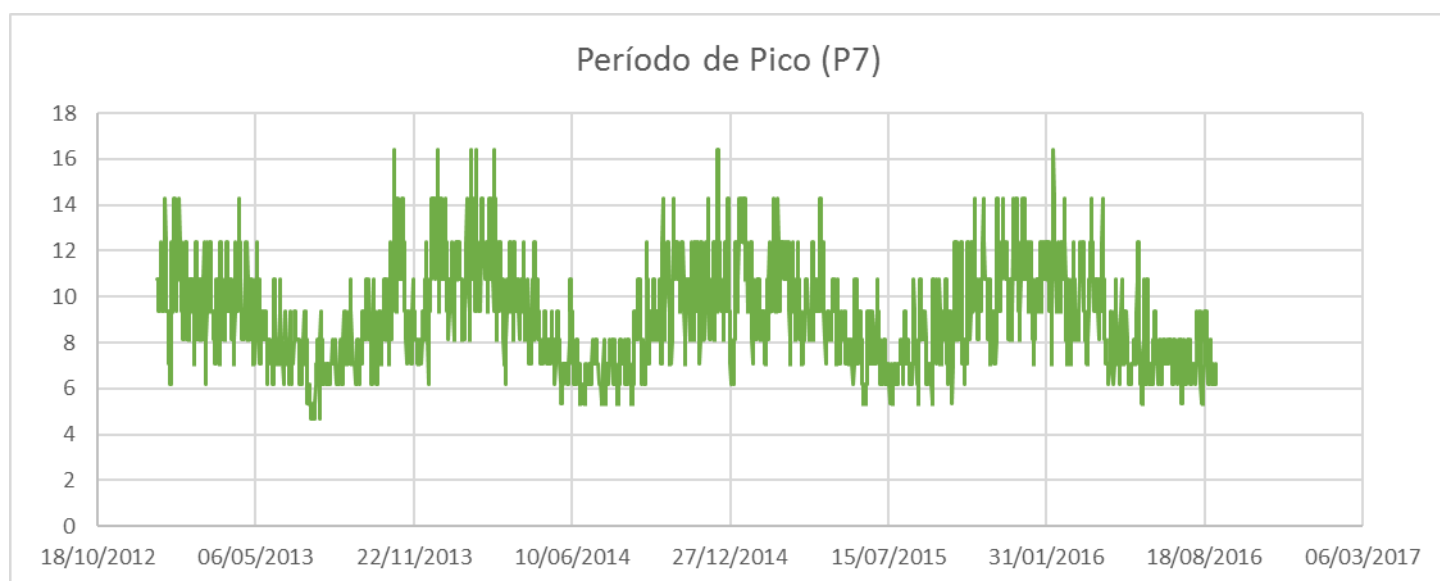


Figura C.10 – Período de pico no ponto P8

Anexo D - Caudal galgado obtido pelas fórmulas empíricas

- 1) Runup e caudal médio galgado determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), considerando o método 1 e a tempestade 1, para as praias da Costa da Caparica

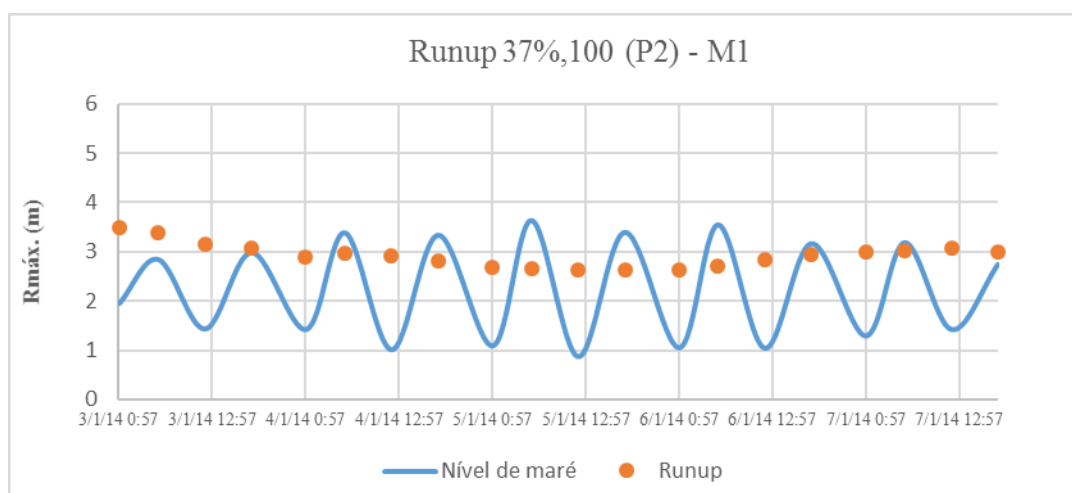


Figura D.1 – Runup na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 1

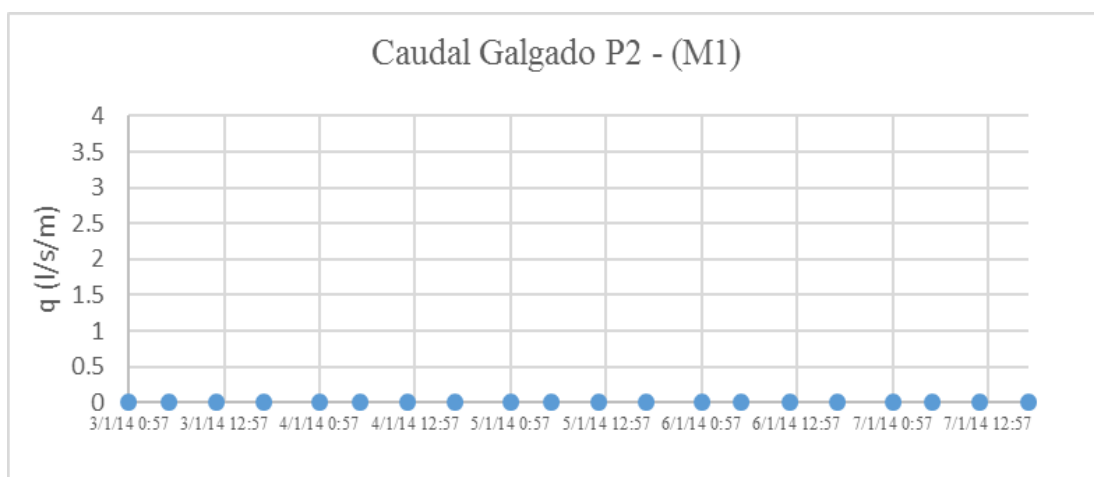


Figura D.2 – Caudal médio galgado na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 1

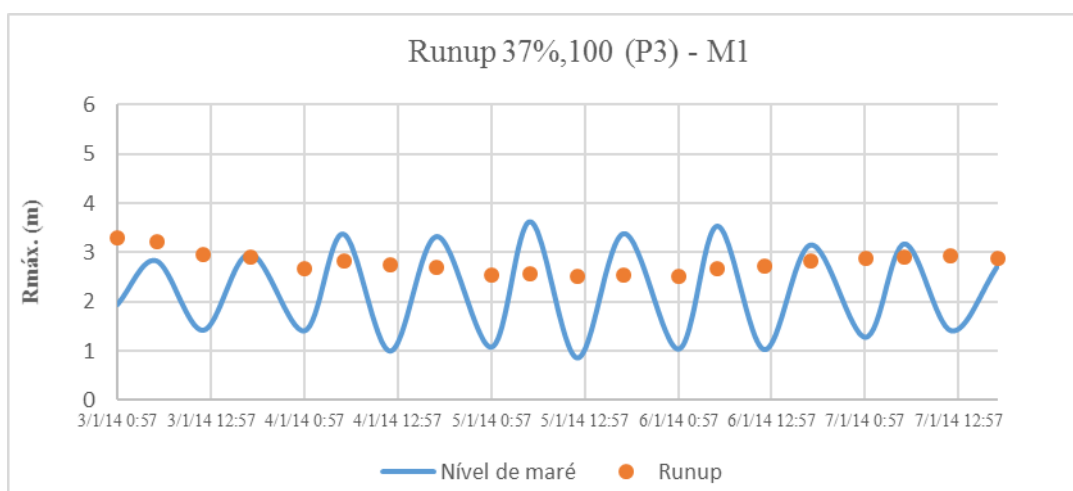


Figura D.3 – Runup na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 1

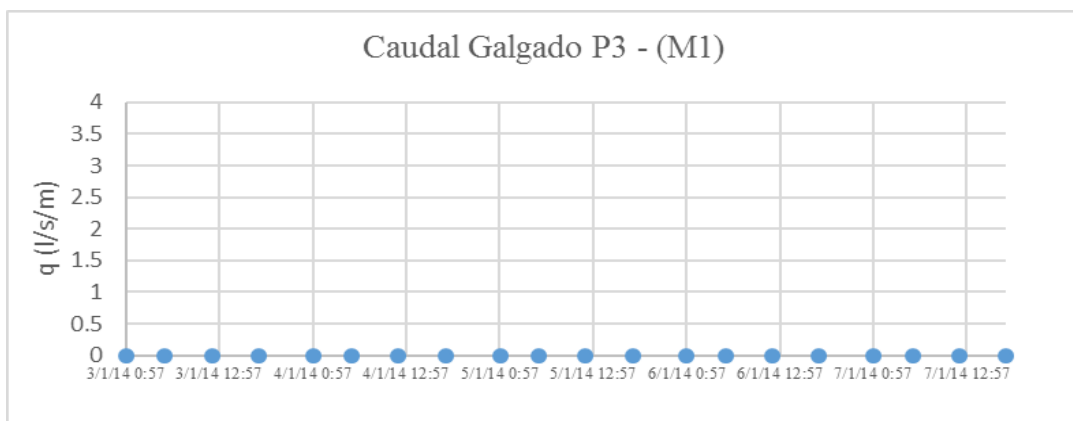


Figura D.4 – Caudal médio galgado na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 1

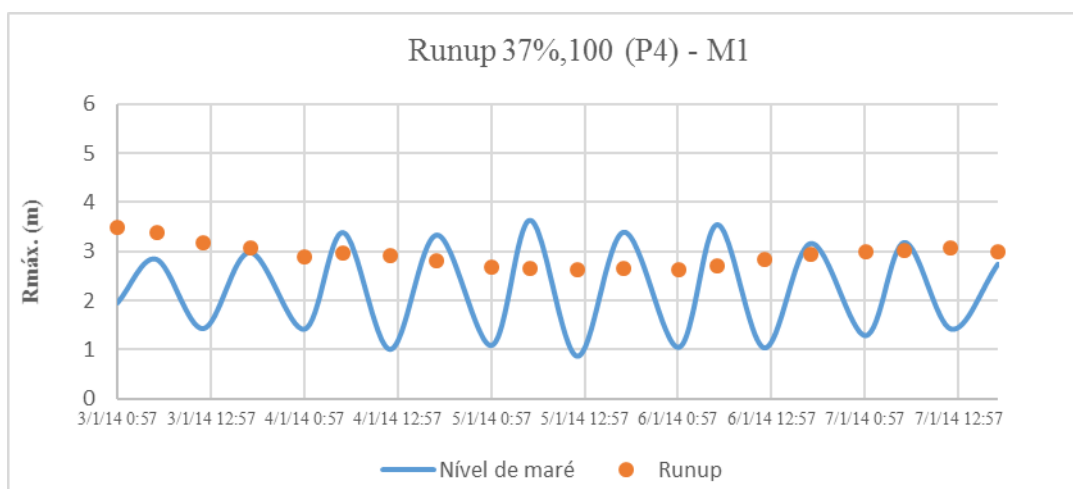


Figura D.5 – Runup na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 1

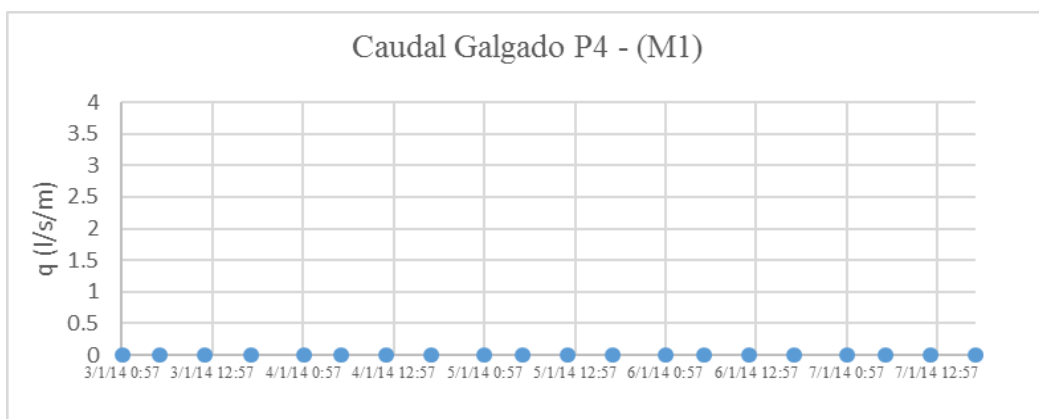


Figura D.6 – Caudal médio galgado na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 1

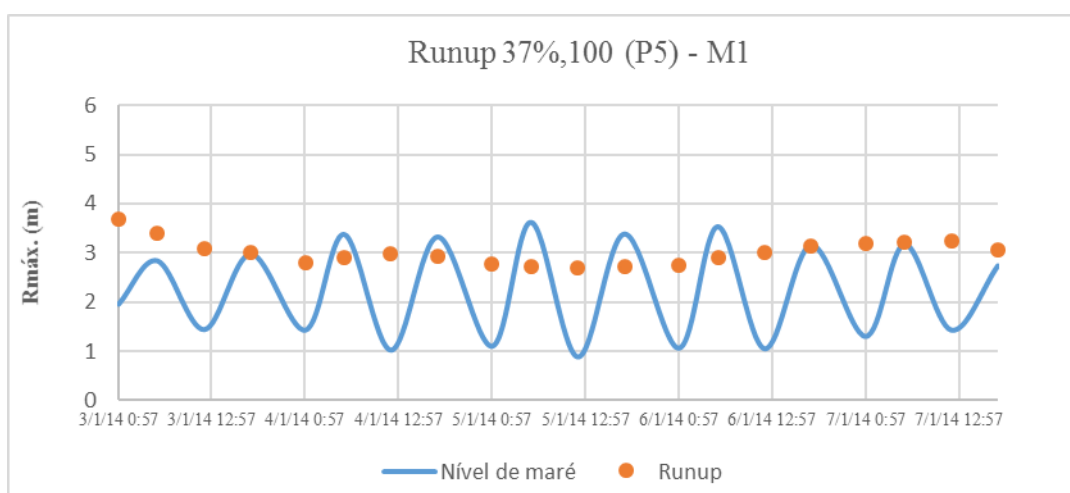


Figura D.7 – Runup na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 1

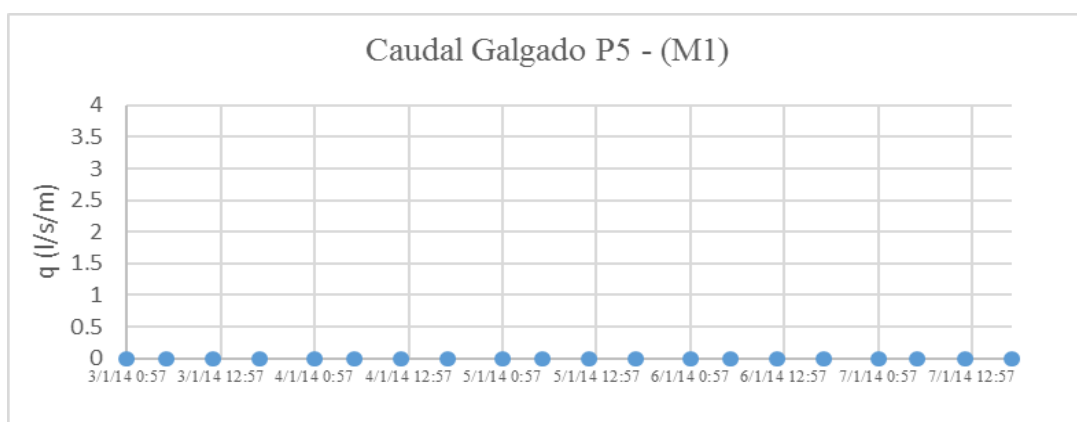


Figura D.8 – Caudal médio galgado na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 1

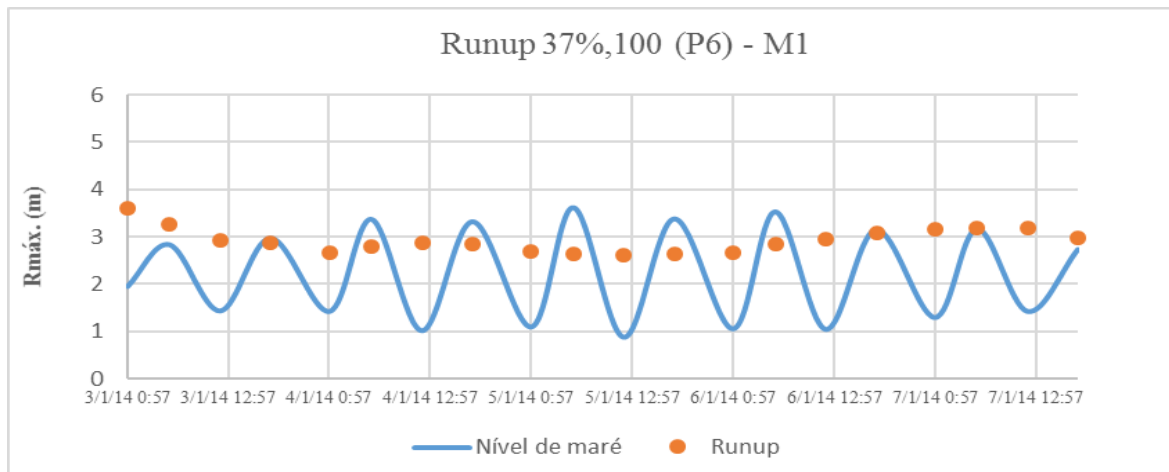


Figura D.9 – Runup na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 1

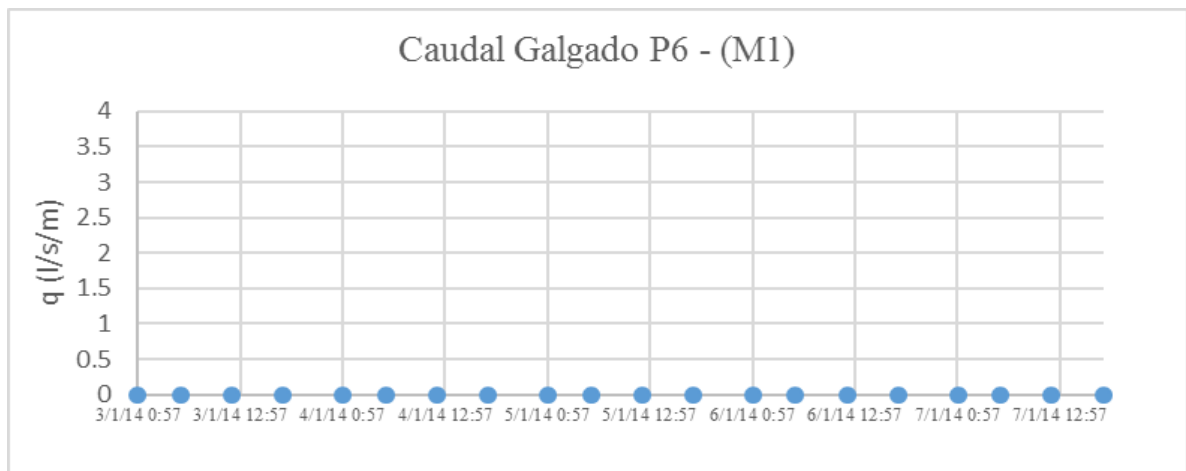


Figura D.10 – Caudal médio galgado na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 1

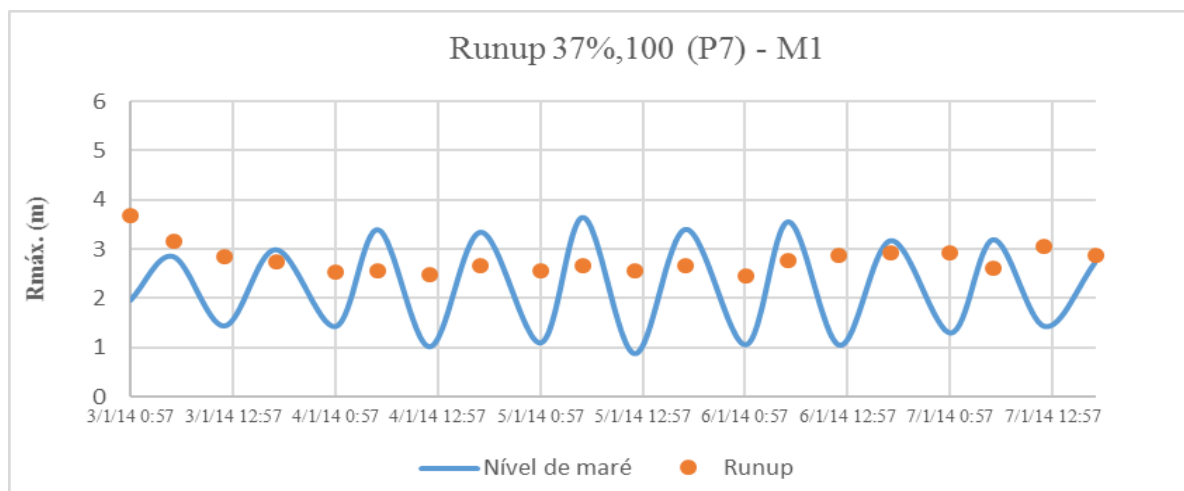


Figura D.11 – Runup na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 1

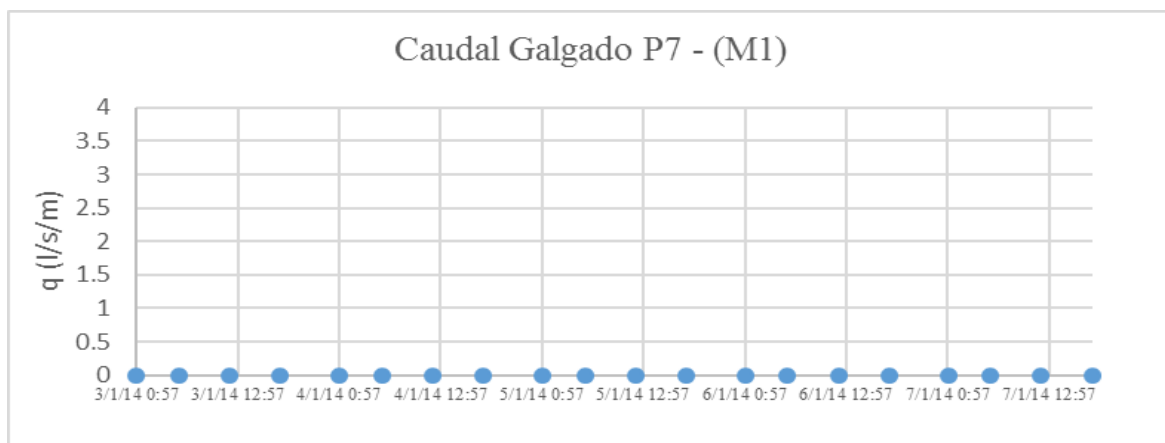


Figura D.12 – Caudal médio galgado na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 1

2) Runup e caudal médio galgado determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), considerando o método 2 e a tempestade 1, para as praias da Costa da Caparica

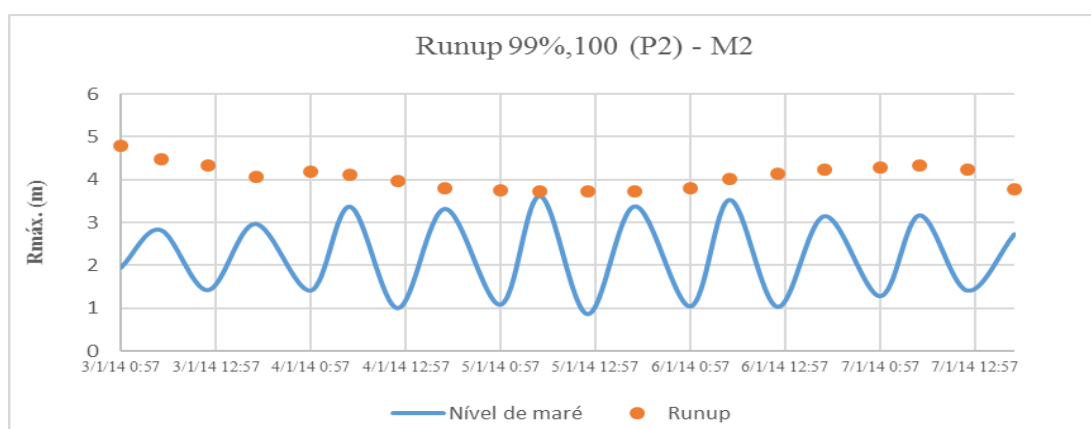


Figura D.13 – Runup na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 1

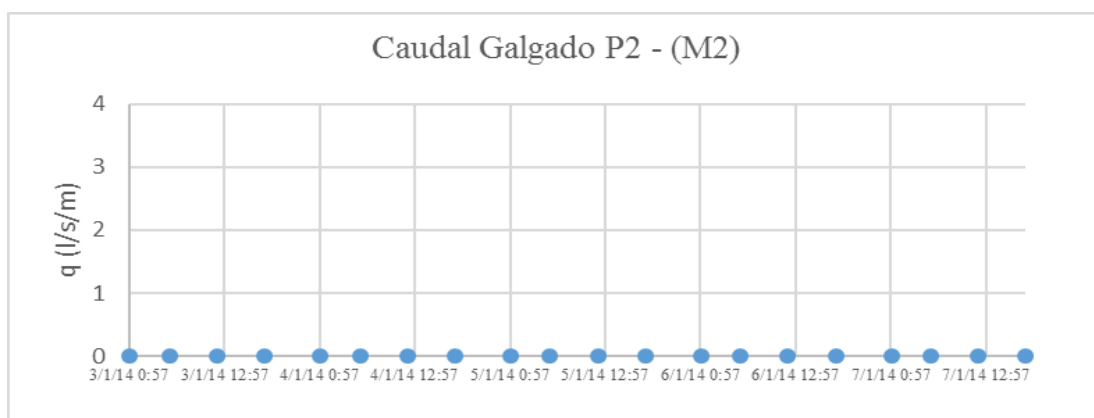


Figura D.14 – Caudal médio galgado na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 1

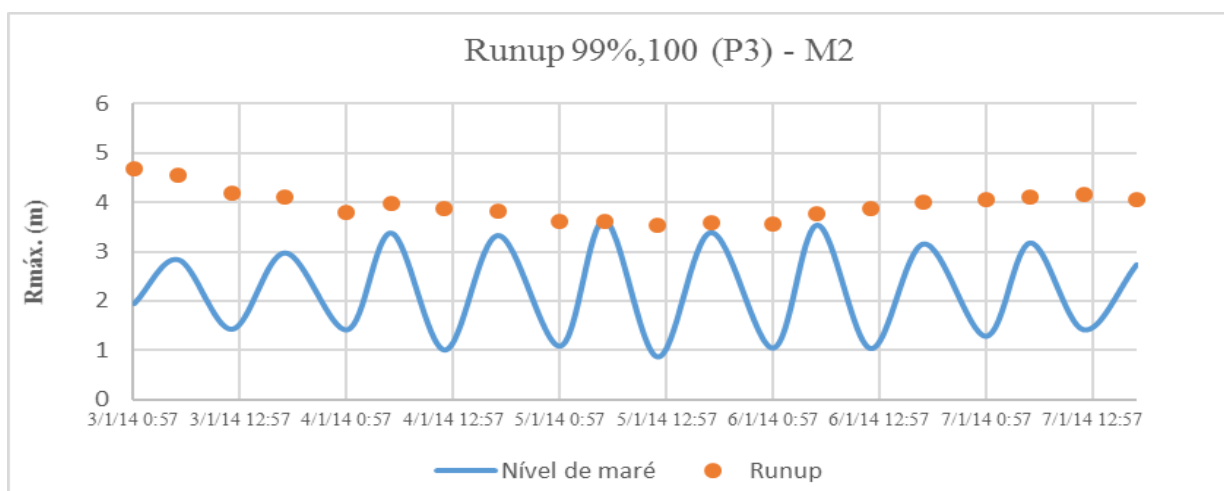


Figura D.15 – Runup na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 1

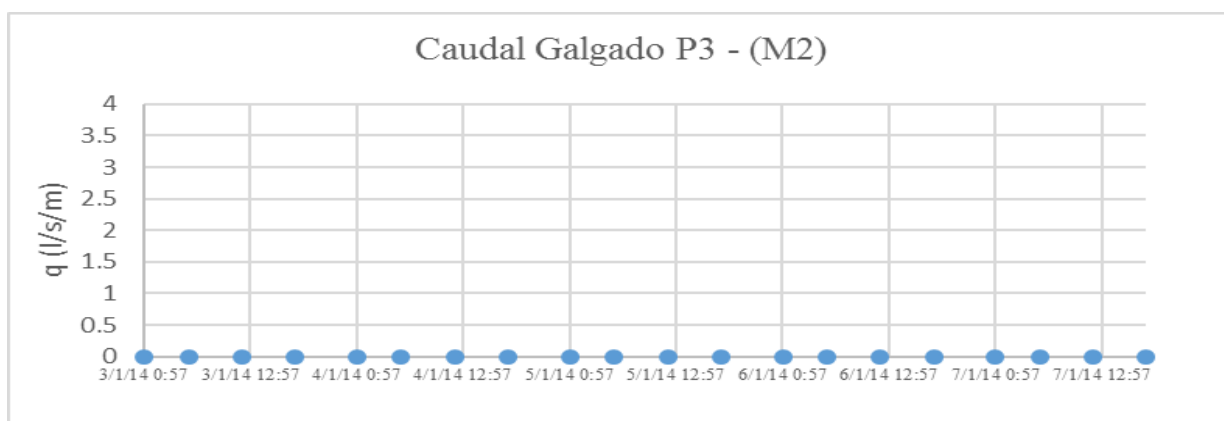


Figura D.16 – Caudal médio galgado na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 1

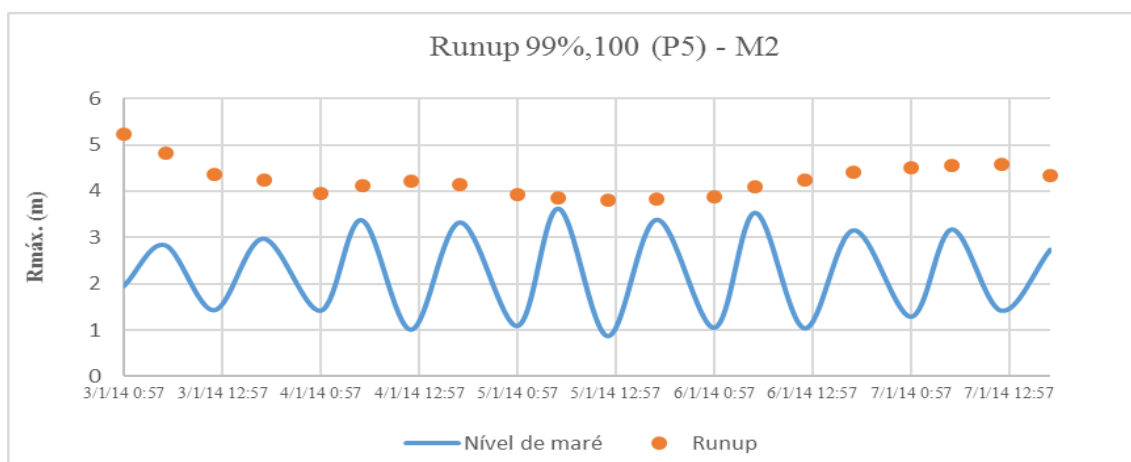


Figura D.17 – Runup na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 1

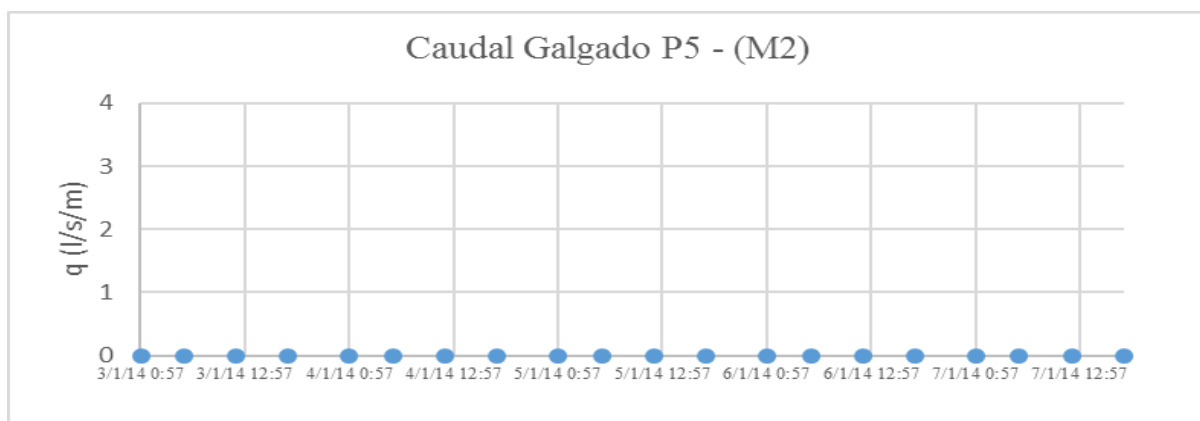


Figura D.18 – Caudal médio galgado na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 1

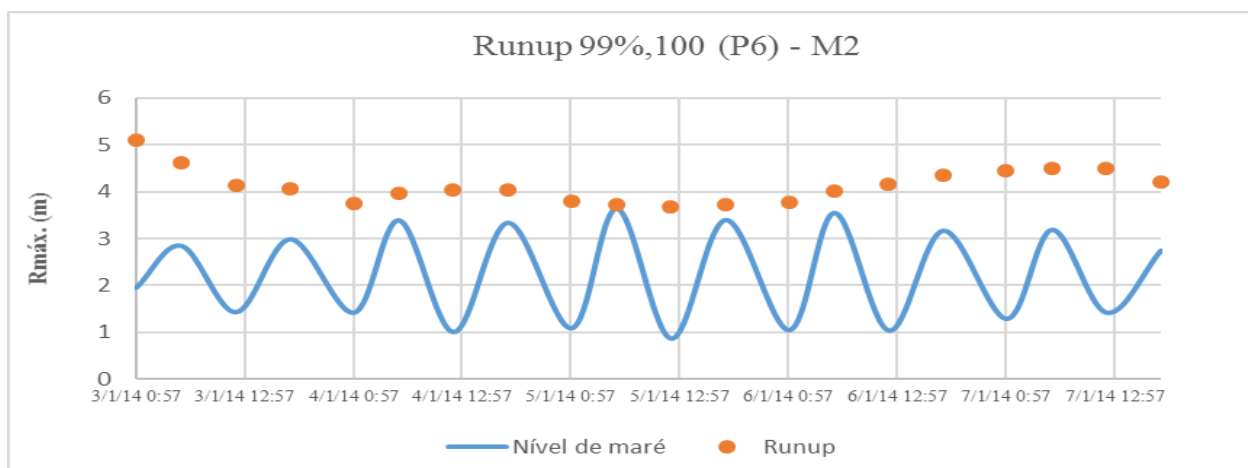


Figura D.19 – Runup na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 1

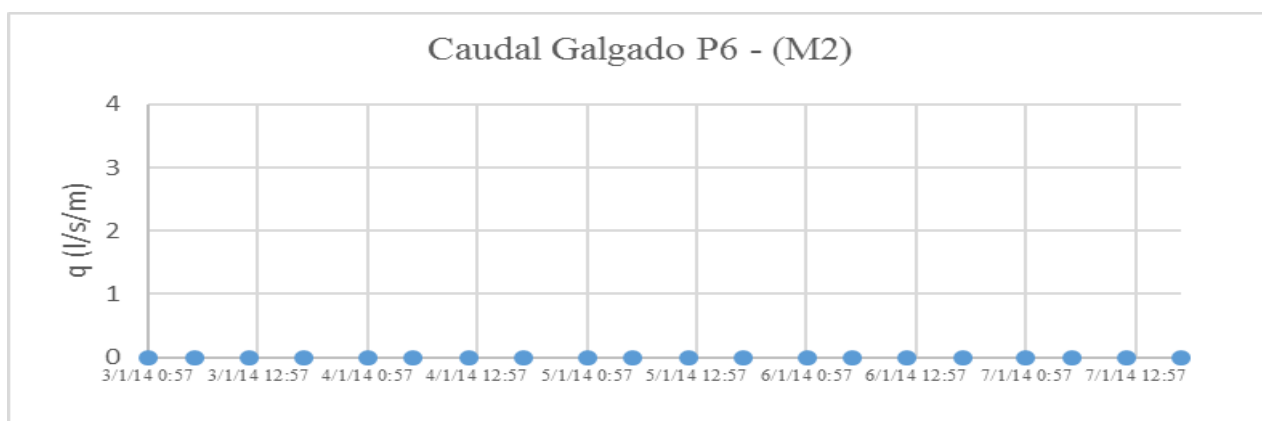


Figura D.20 – Caudal médio galgado na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 1

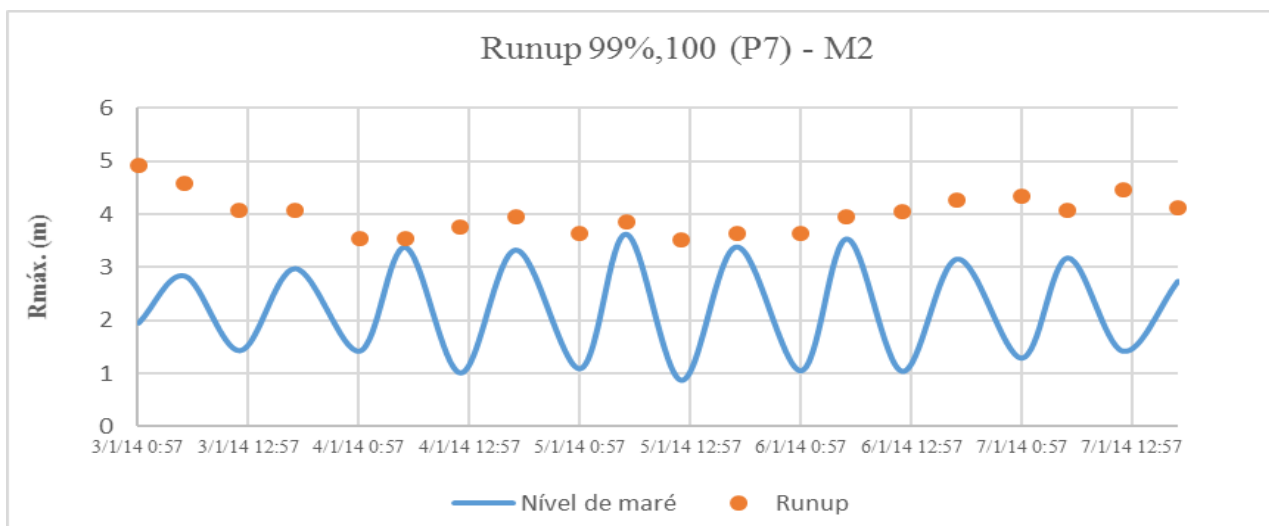


Figura D.21 – Runup na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 1

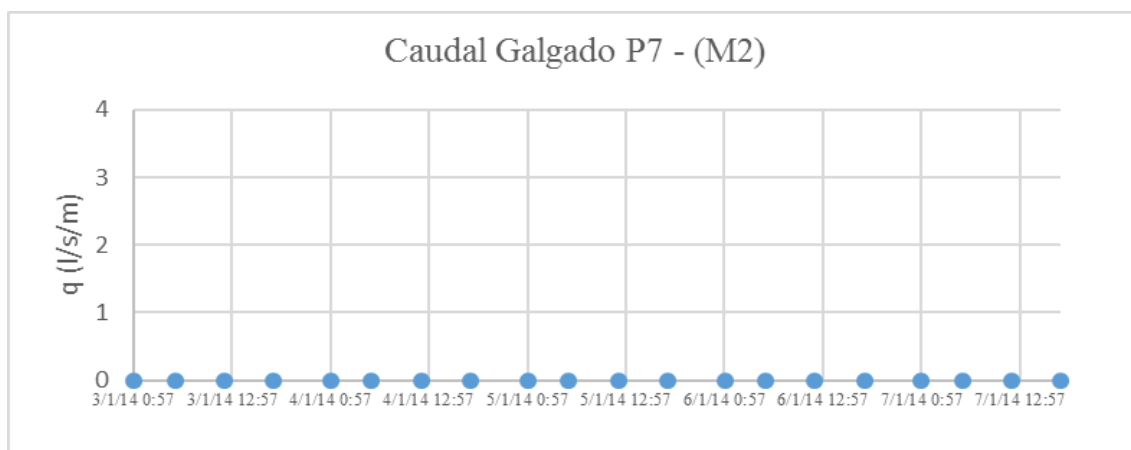


Figura D.22 – Caudal médio galgado na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 1

3) Runup e caudal médio galgado determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), considerando o método 1 e a tempestade 2, para as praias da Costa da Caparica

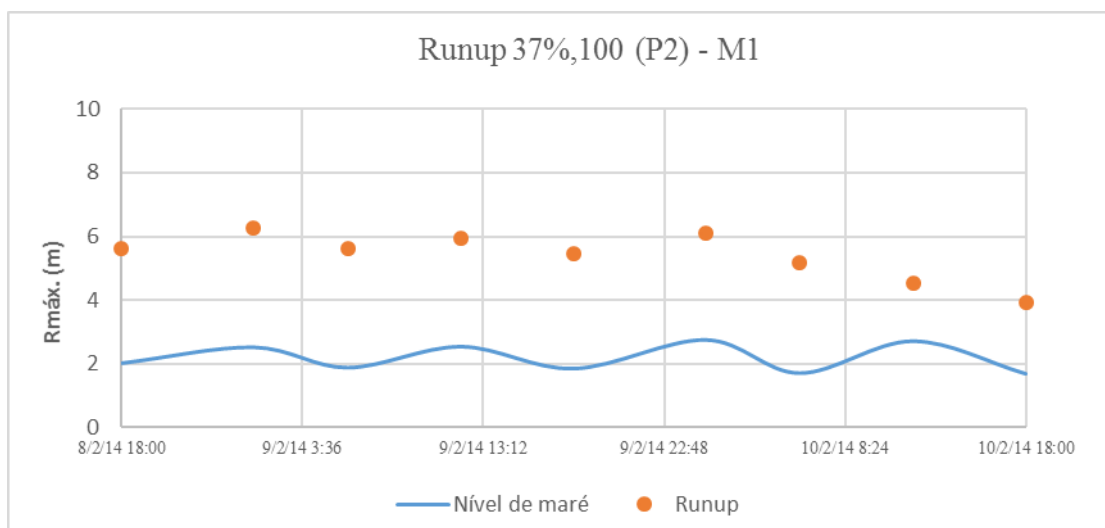


Figura D.23 – Runup na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 2

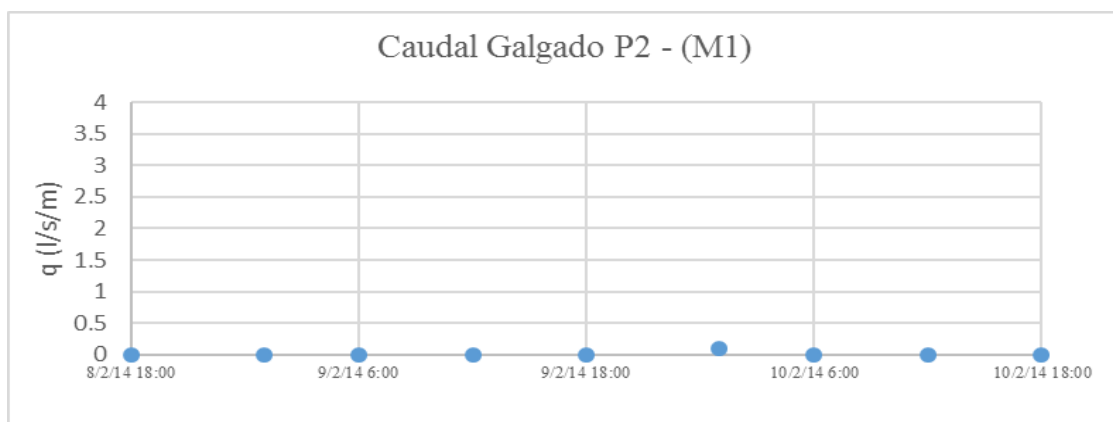


Figura D.24 – Caudal médio galgado na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 2

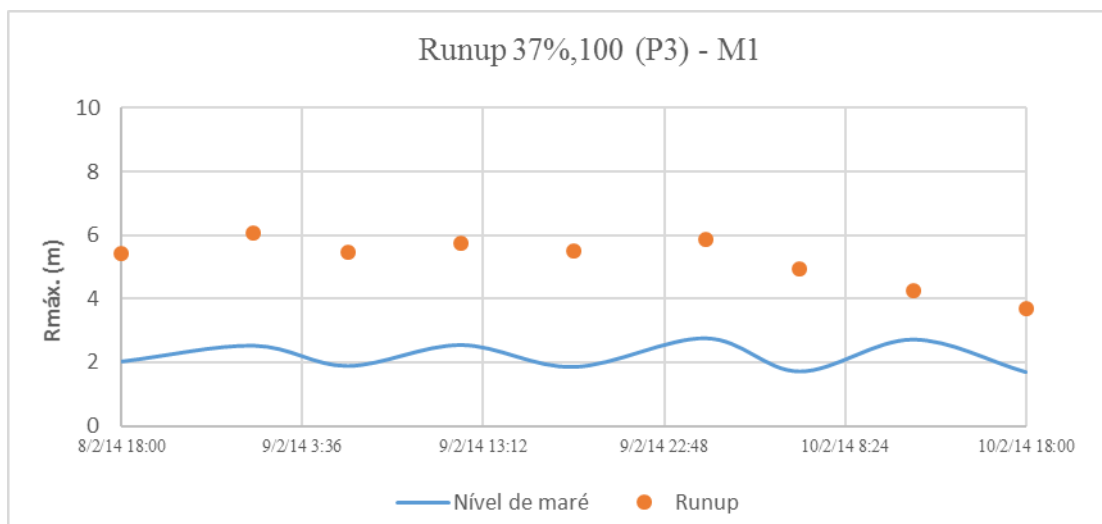


Figura D.25 – Runup na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 2

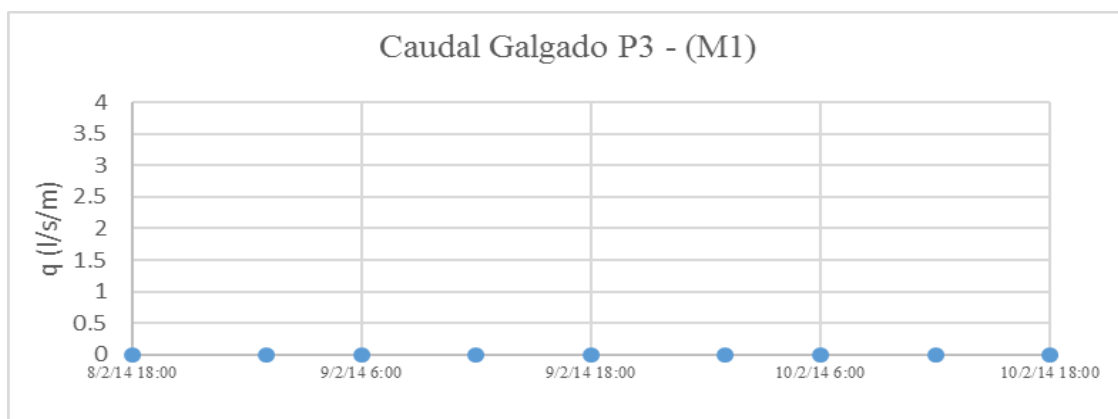


Figura D.26 – Caudal médio galgado na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 2

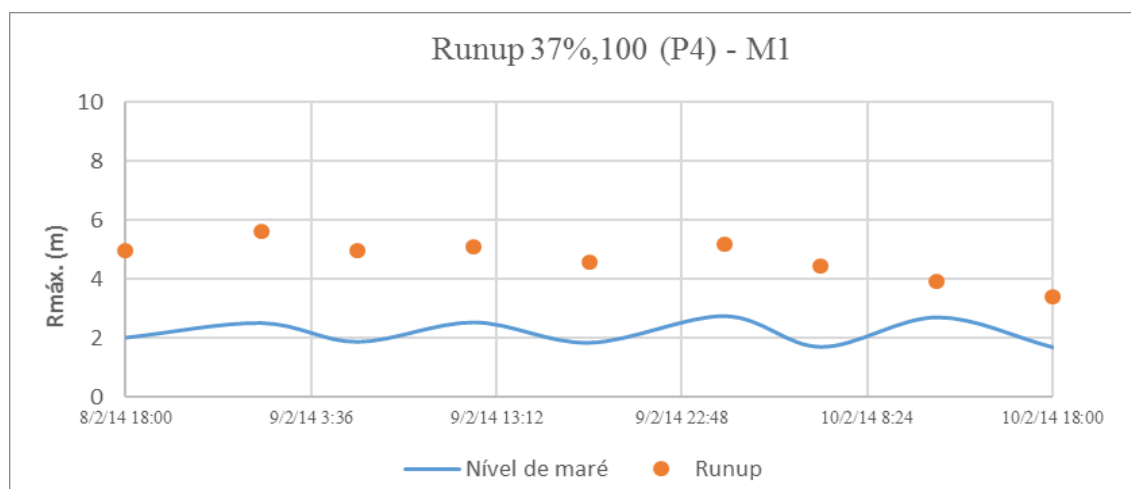


Figura D.27 – Runup na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 2

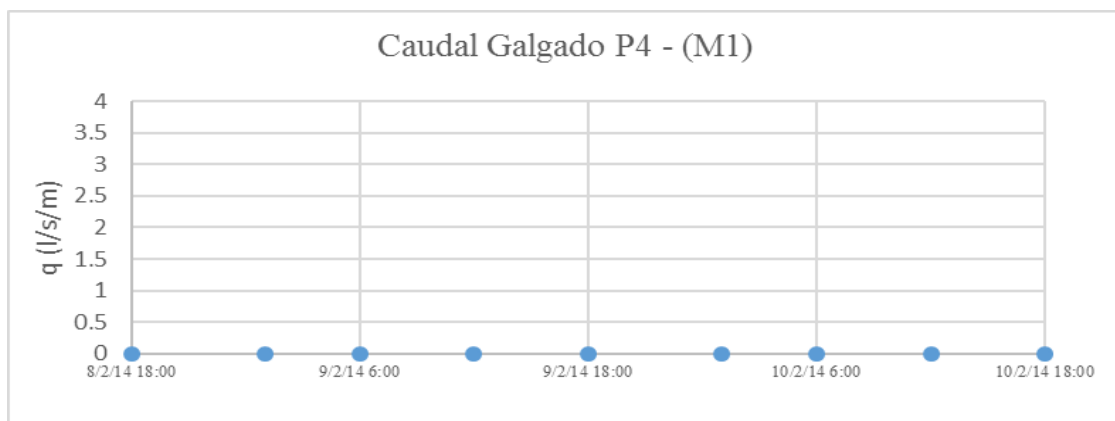


Figura D.28 – Caudal médio galgado na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 2

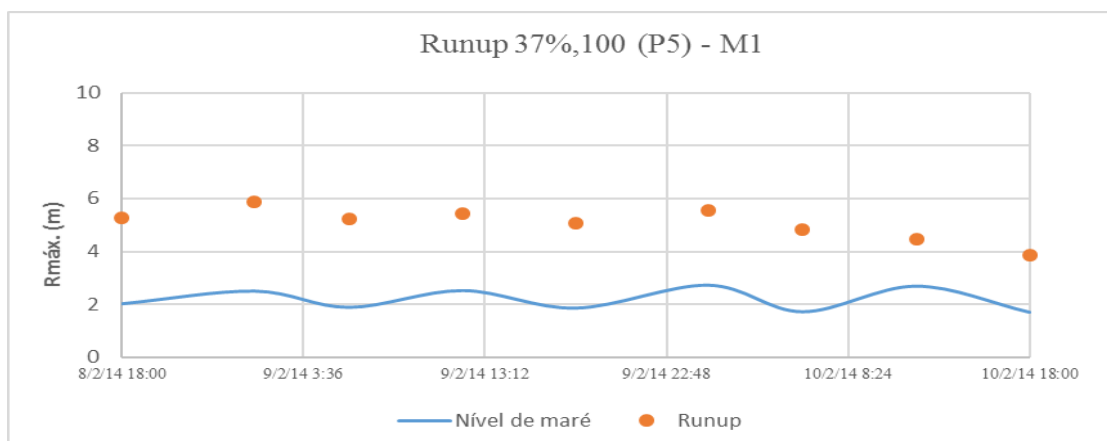


Figura D.29 – Runup na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 2

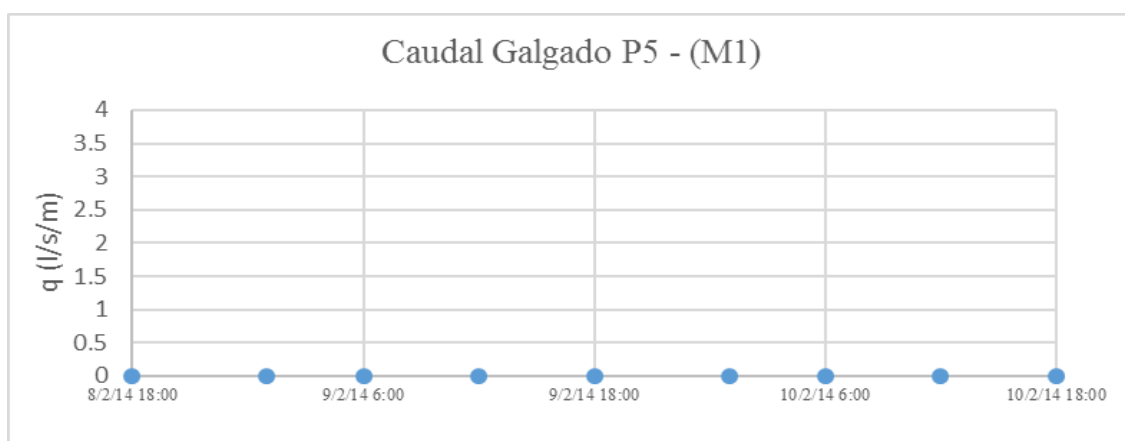


Figura D.30 – Caudal médio galgado na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 2

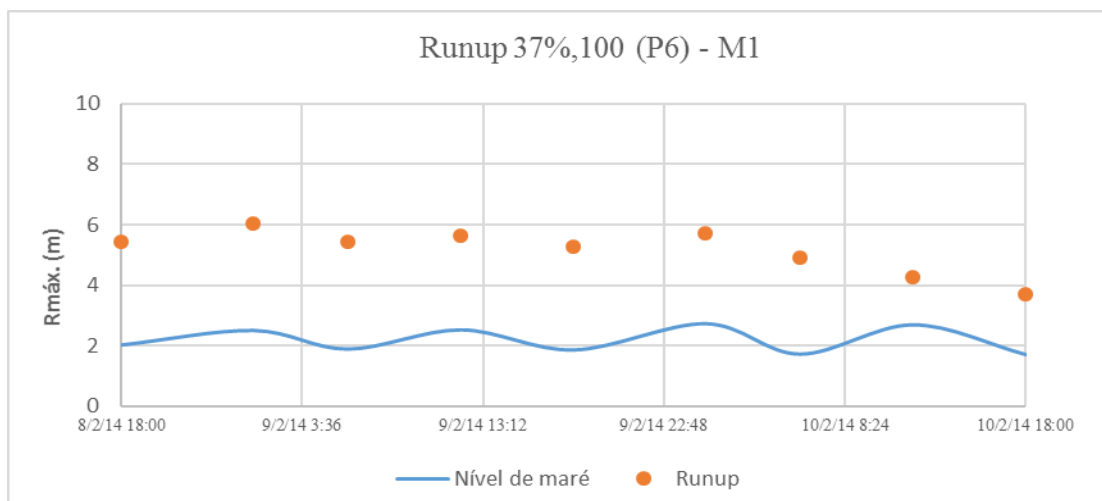


Figura D.31 – Runup na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 2

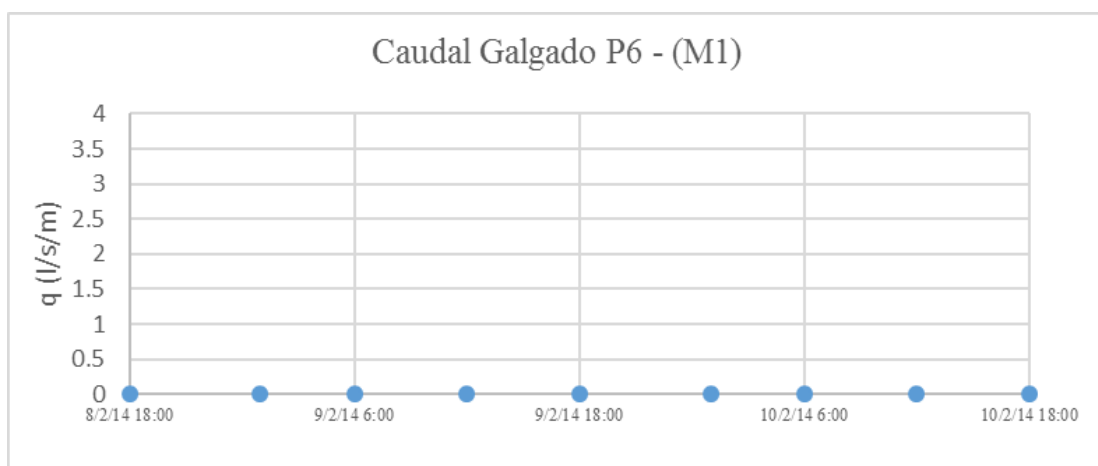


Figura D.32 – Caudal médio galgado na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 2

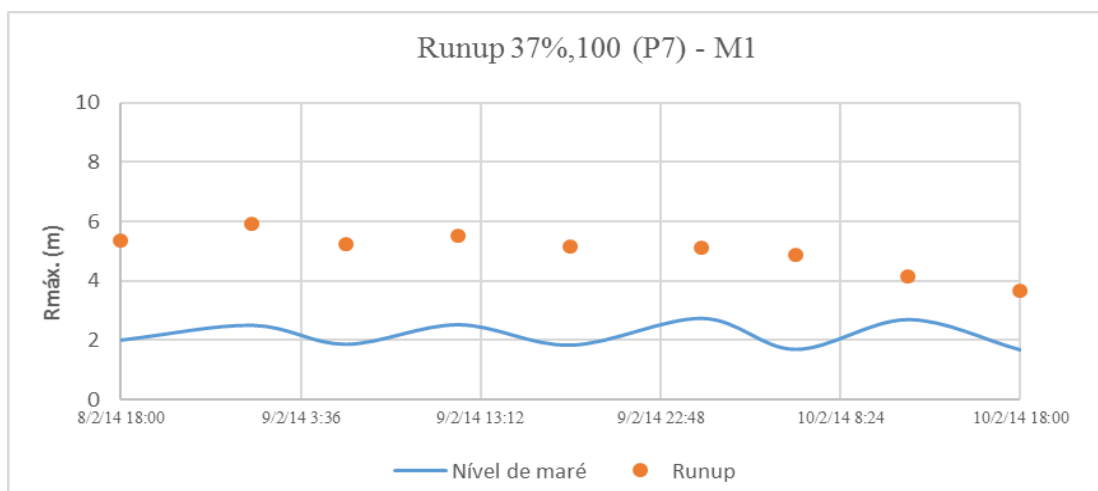


Figura D.33 – Runup na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 2

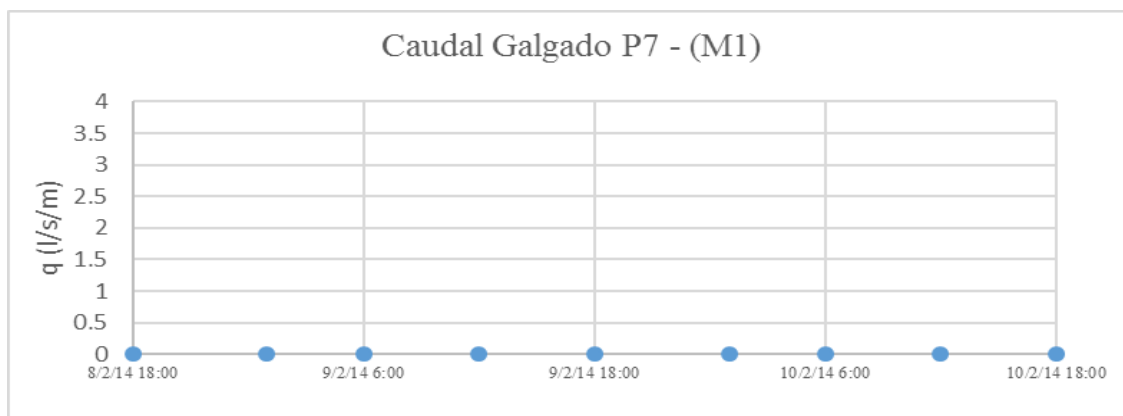


Figura D.34 – Caudal médio galgado na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 2

4) Runup e caudal médio galgado determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), considerando o método 2 e a tempestade 2, para as praias da Costa da Caparica

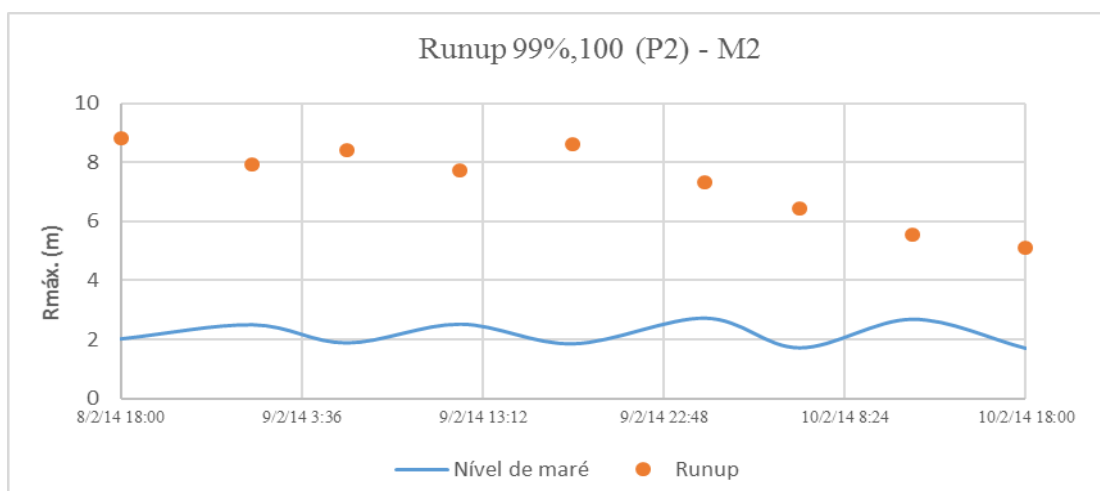


Figura D.35 – Runup na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 2

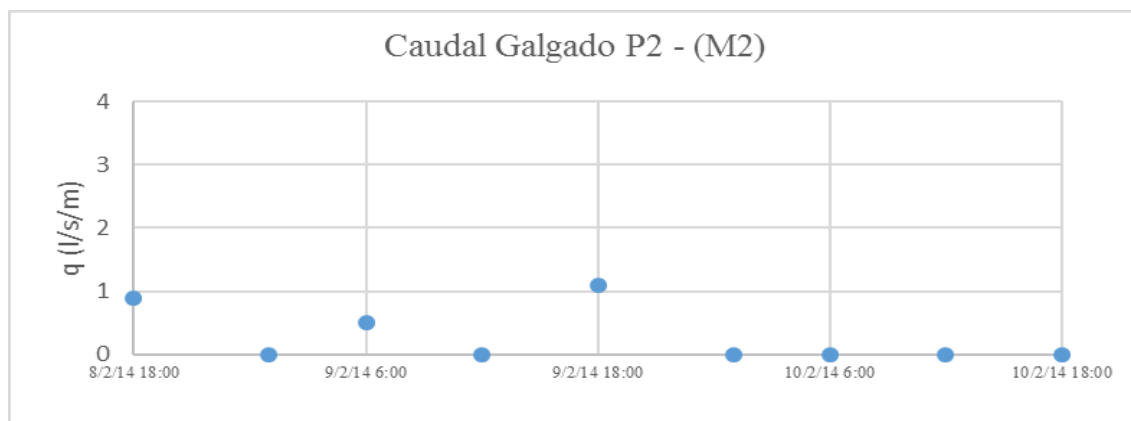


Figura D.36 – Caudal médio galgado na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 2

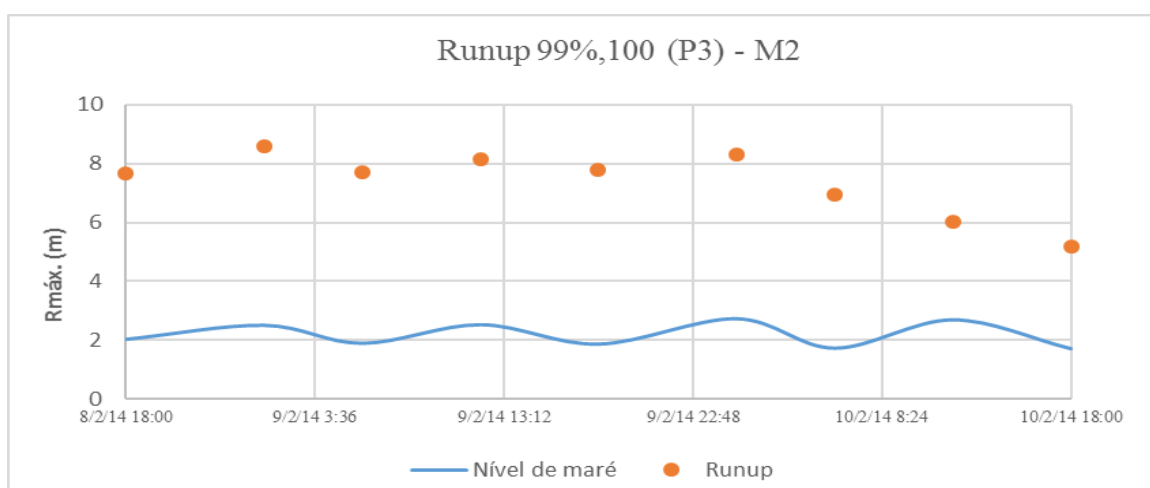


Figura D.37 – Runup na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 2

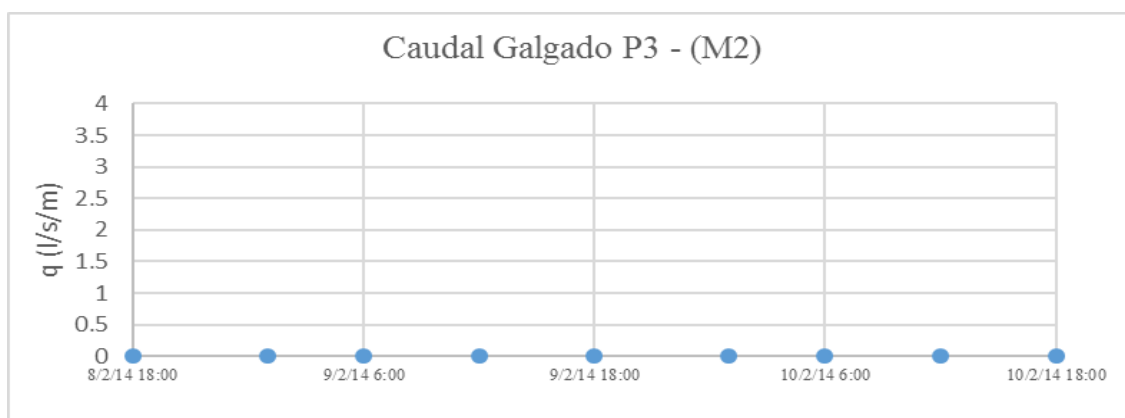


Figura D.38 – Caudal médio galgado na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 2

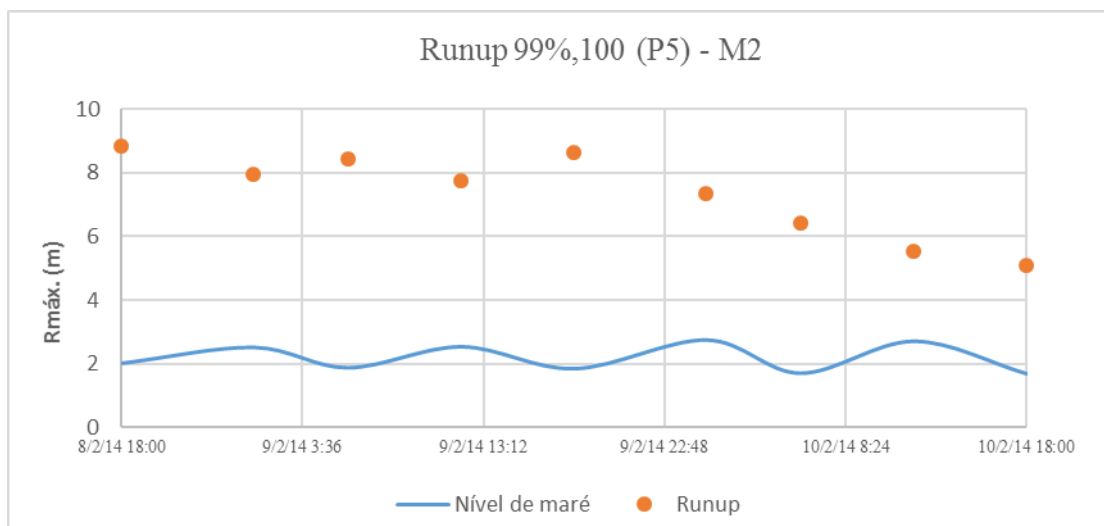


Figura D.39 – Runup na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 2

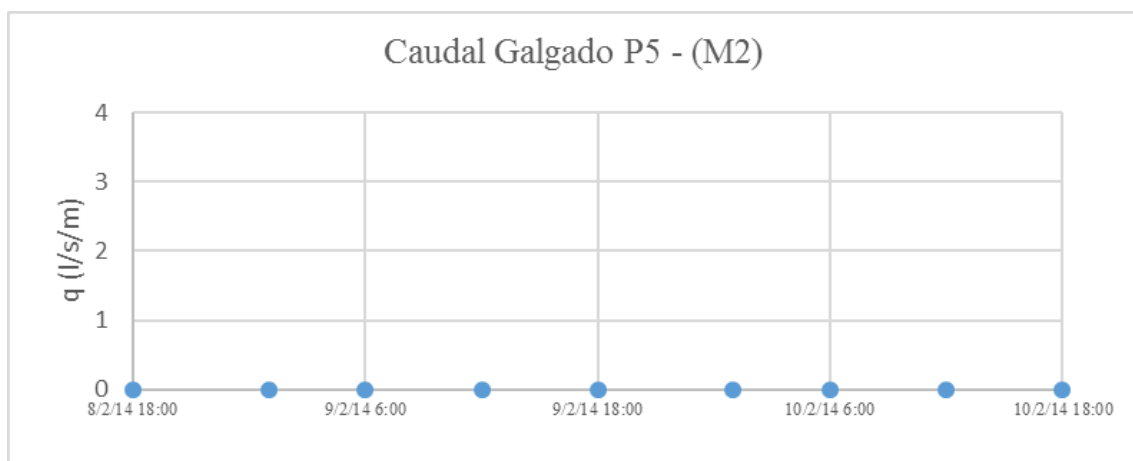


Figura D.40 – Caudal médio galgado na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 2

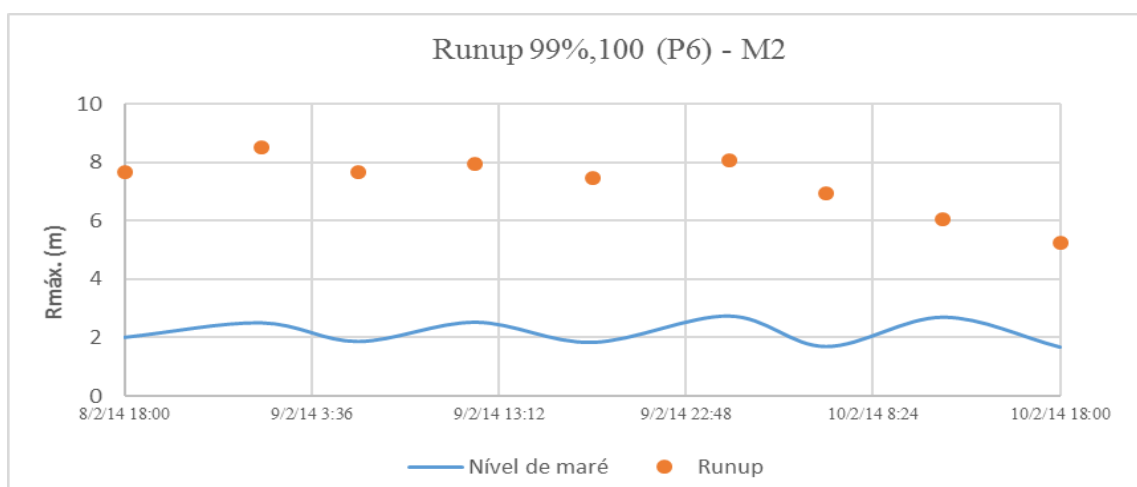


Figura D.41 – Runup na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 2

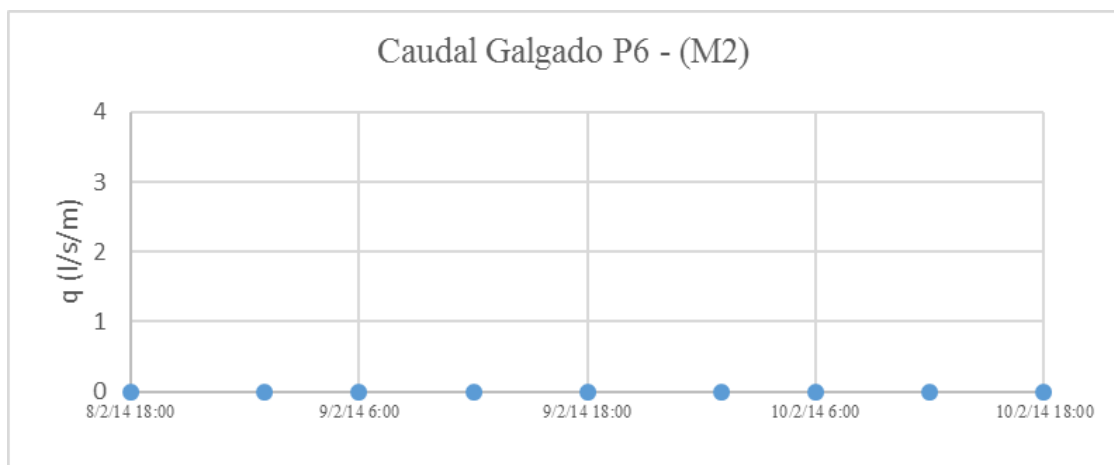


Figura D.42 – Caudal médio galgado na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 2

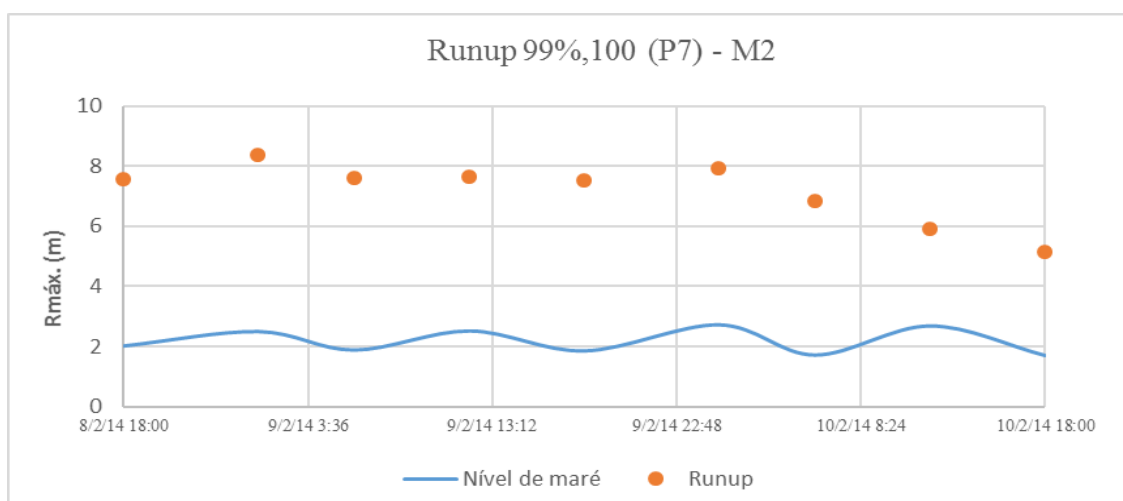


Figura D.43 – Runup na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 2

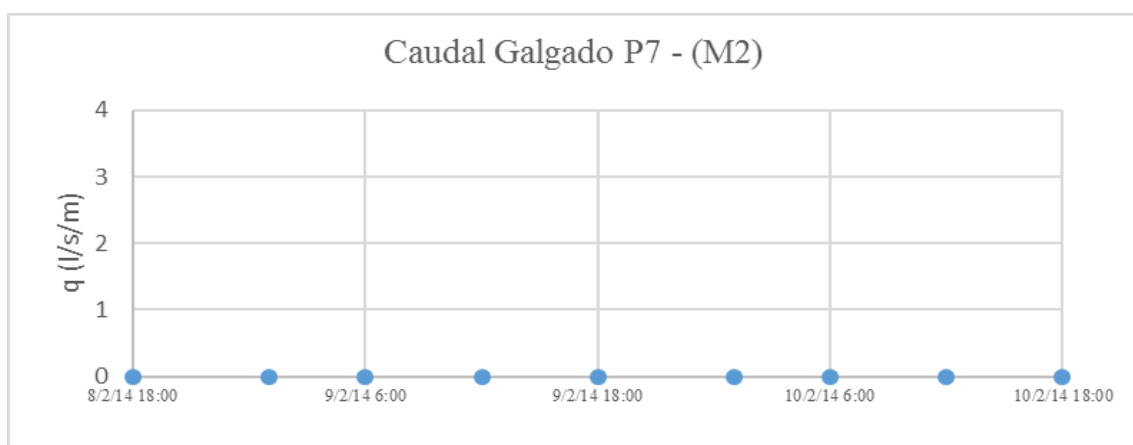


Figura D.44 – Caudal médio galgado na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 2

5) Runup e caudal médio galgado determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), considerando o método 1 e a tempestade 3, para as praias da Costa da Caparica

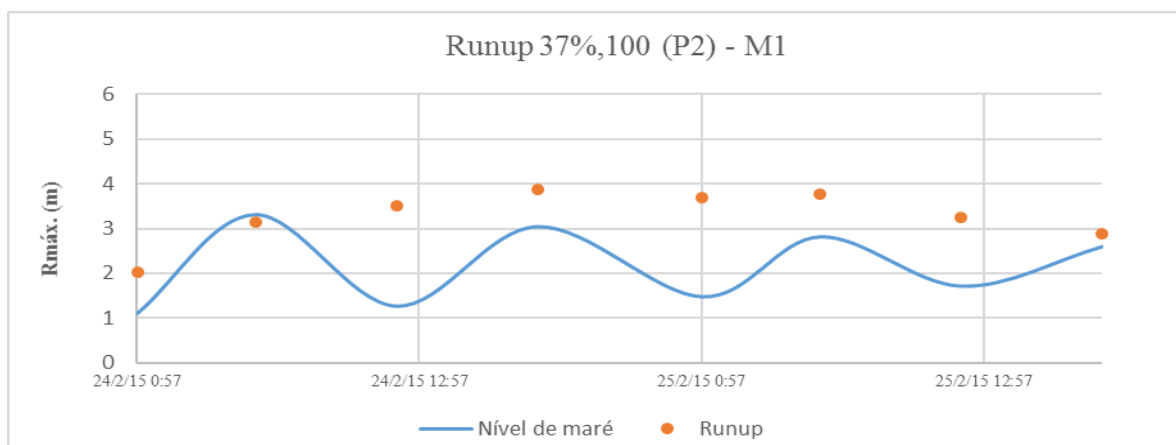


Figura D.45 – Runup na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 3

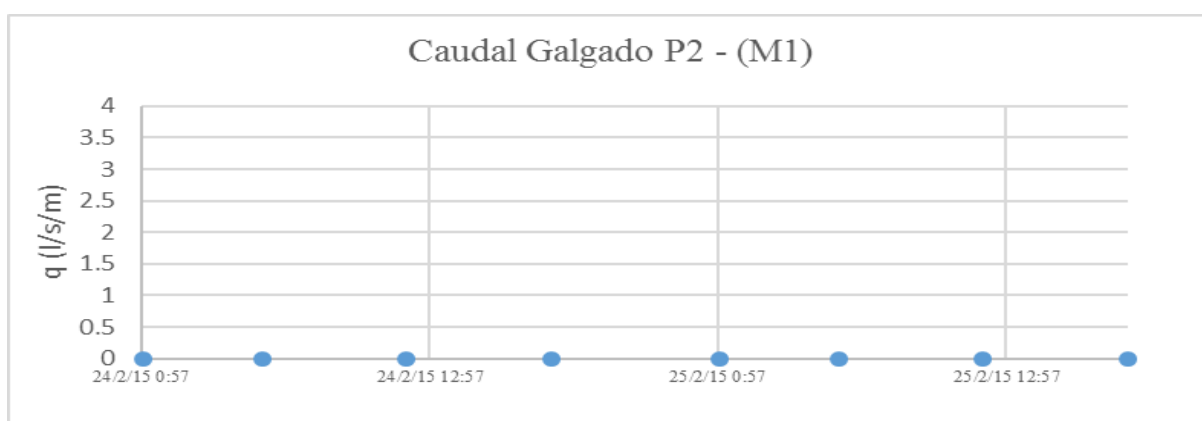


Figura D.46 – Caudal médio galgado na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 3

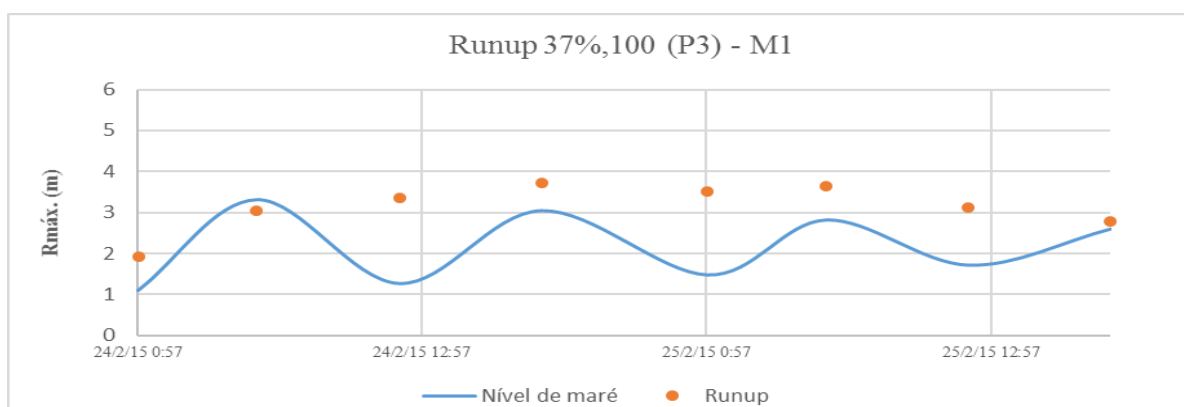


Figura D.47 – Runup na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 3

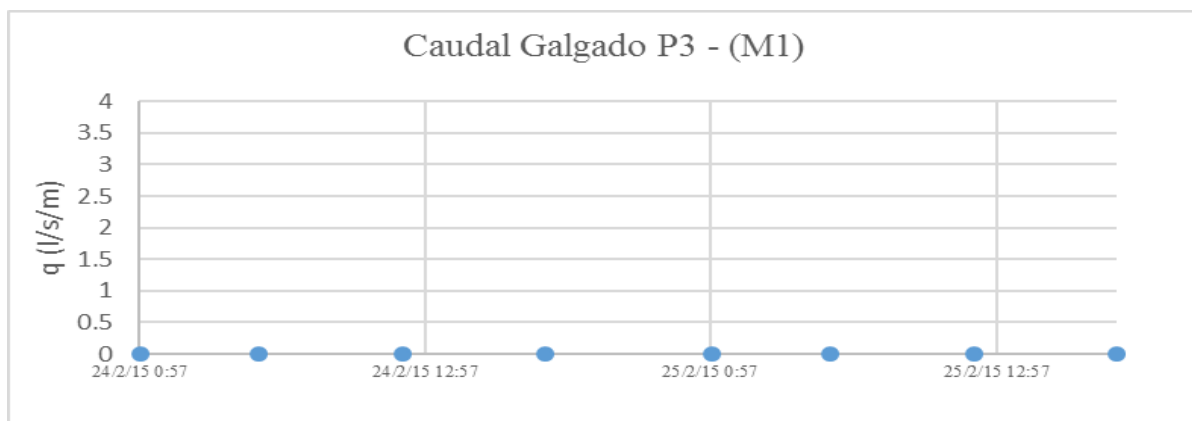


Figura D.48 – Caudal médio galgado na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 3

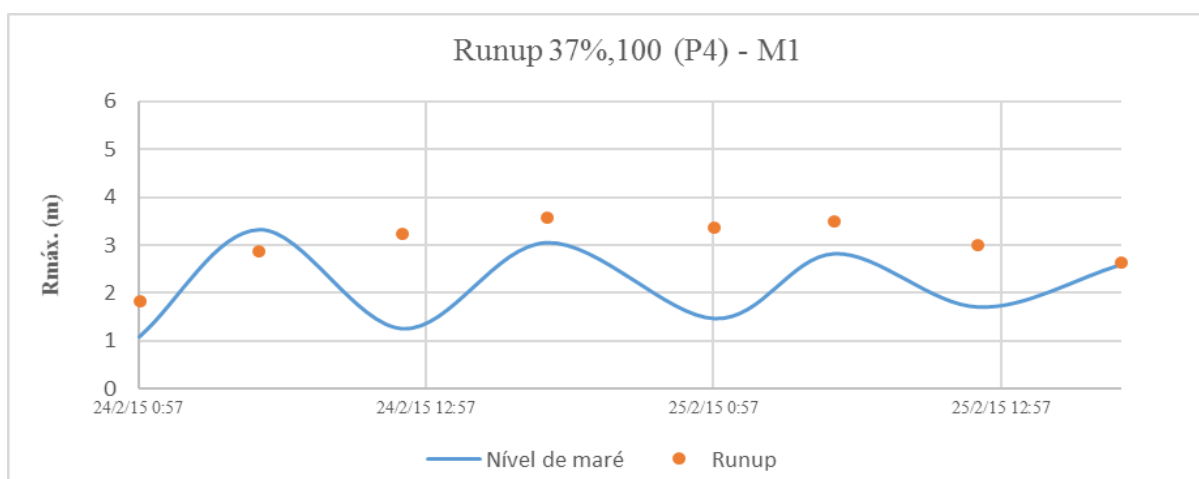


Figura D.49 – Runup na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 3

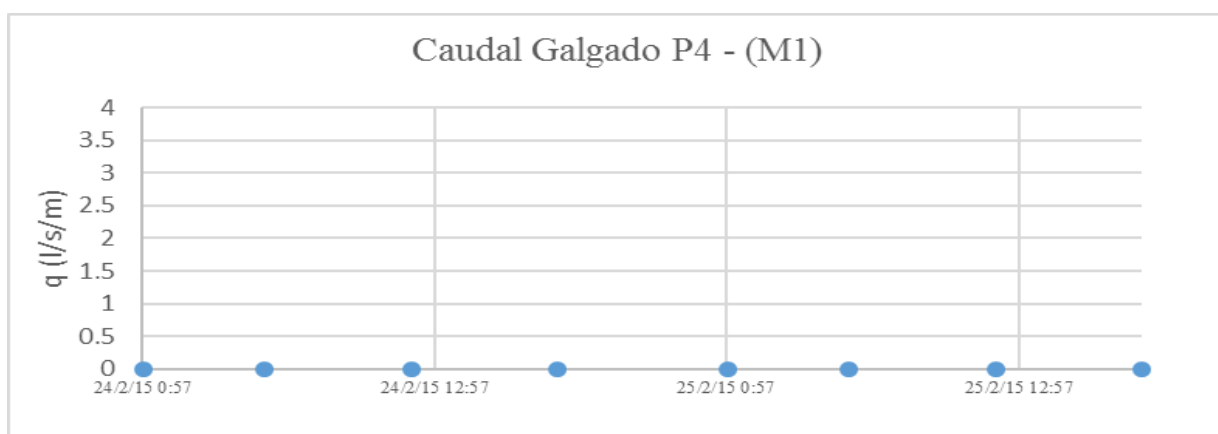


Figura D.50 – Caudal médio galgado na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 3

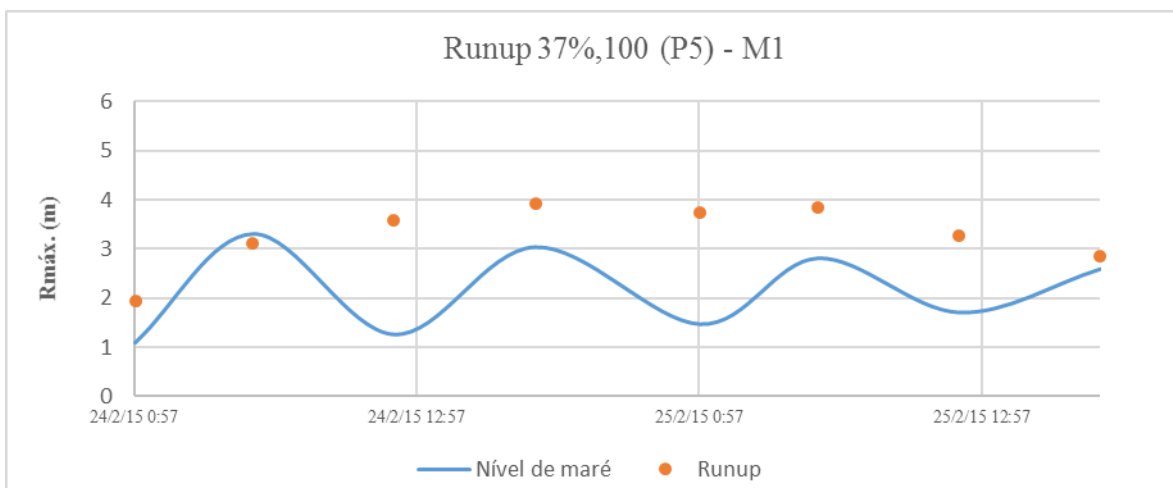


Figura D.51 – Runup na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 3

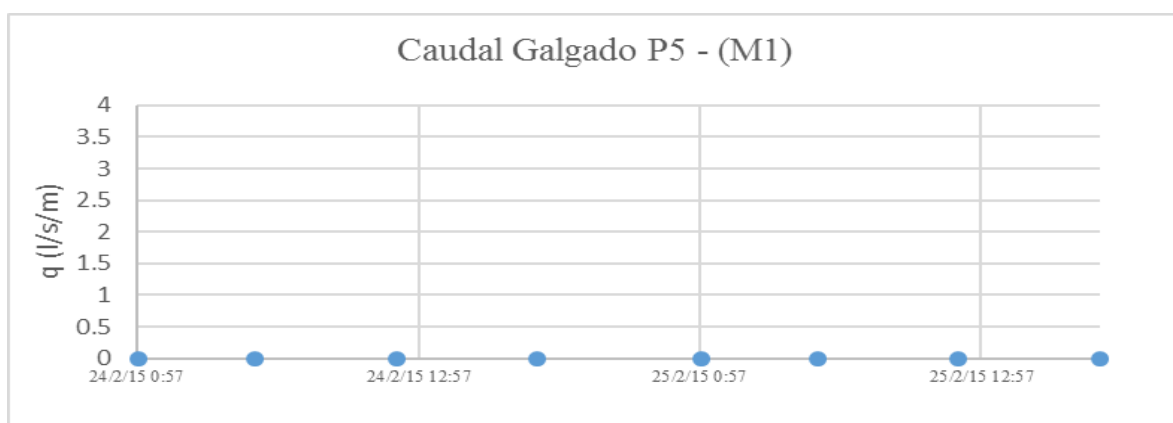


Figura D.52 – Caudal médio galgado na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 3

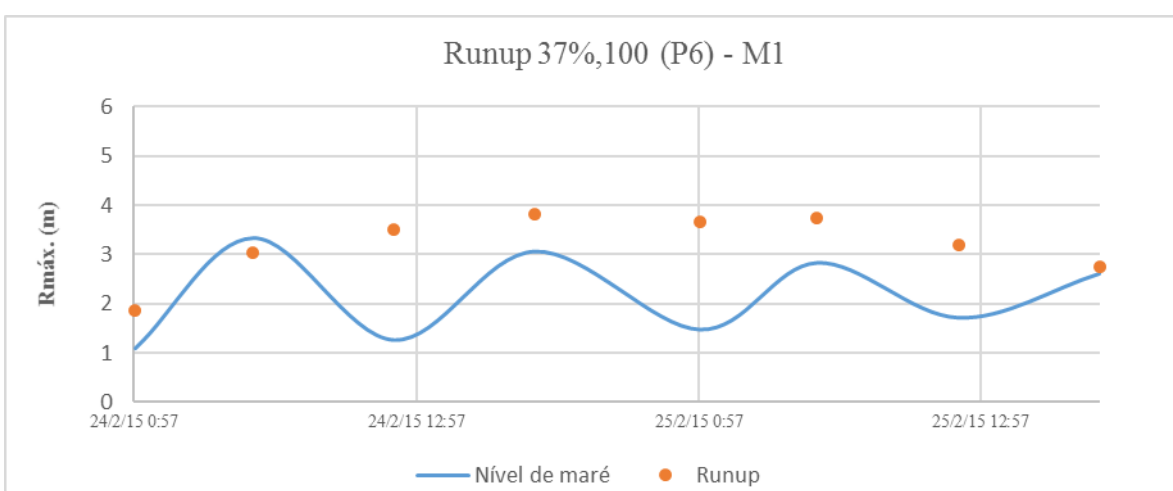


Figura D.53 – Runup na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 3

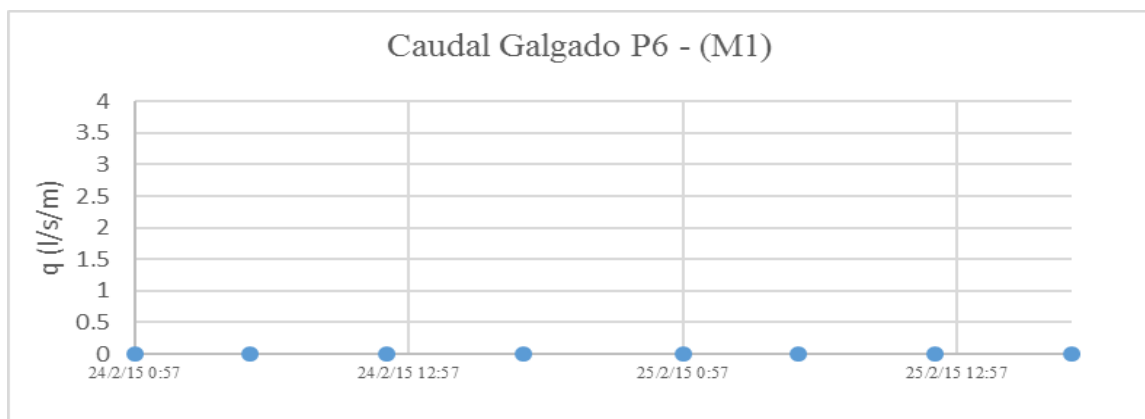


Figura D.54 – Caudal médio galgado na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 3

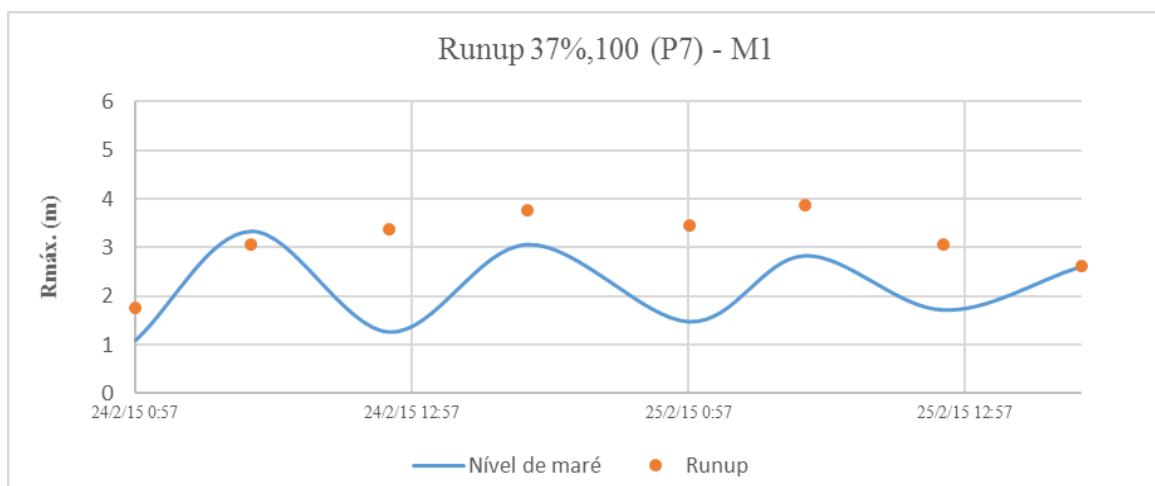


Figura D.55 – Runup na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 3

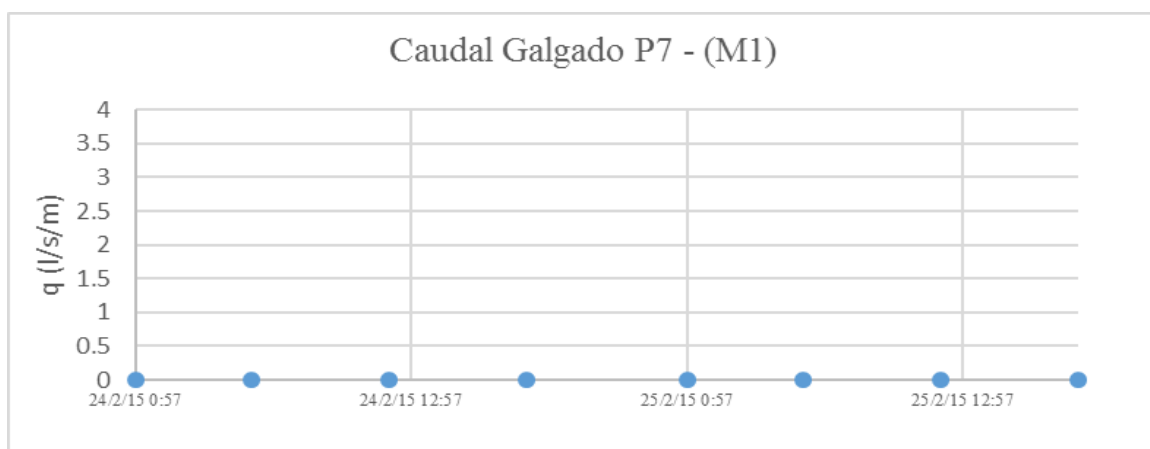


Figura D.56 – Caudal médio galgado na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 3

6) Runup e caudal médio galgado determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), considerando o método 2 e a tempestade 3, para as praias da Costa da Caparica

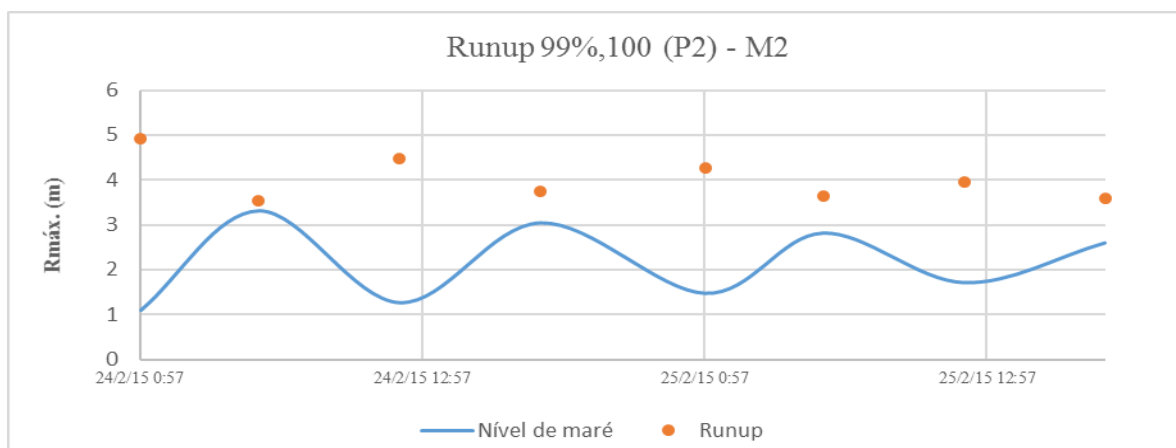


Figura D.57 – Runup na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 3

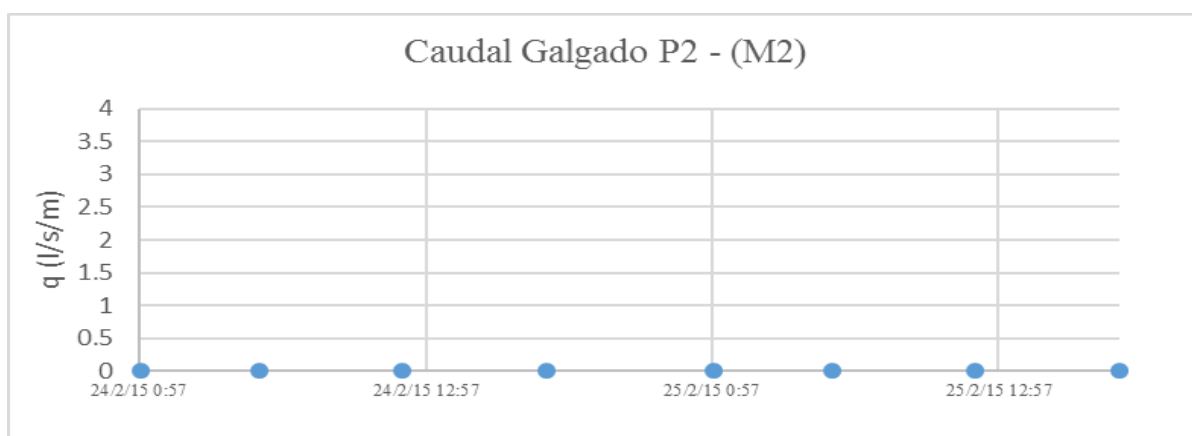


Figura D.58 – Caudal médio galgado na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 3

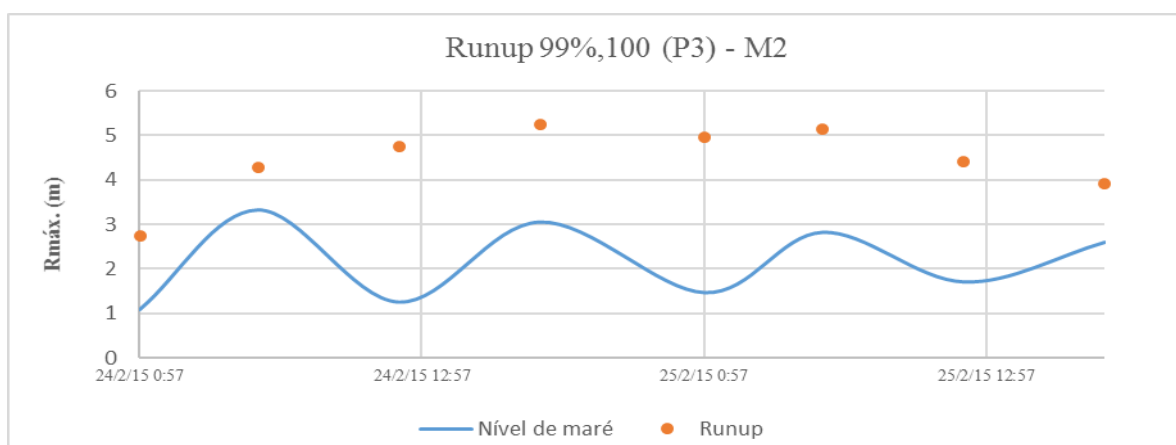


Figura D.59 – Runup na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 3

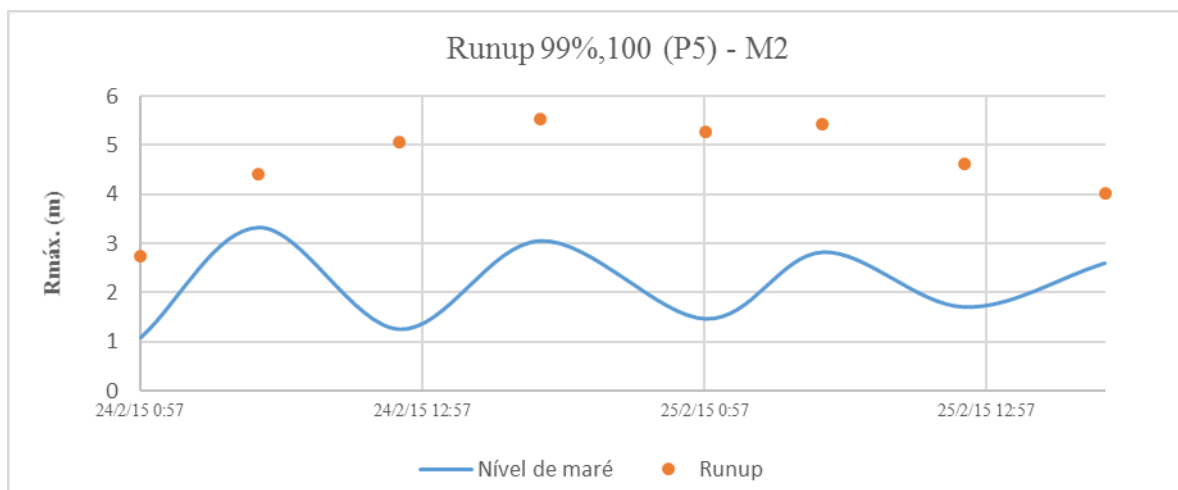


Figura D.60 – Runup na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 3

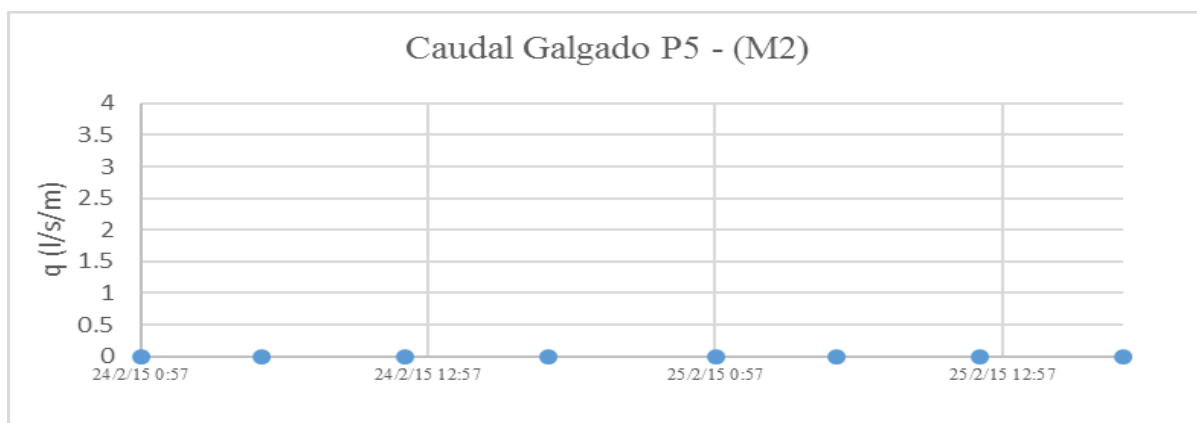


Figura D.61 – Caudal médio galgado na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 3

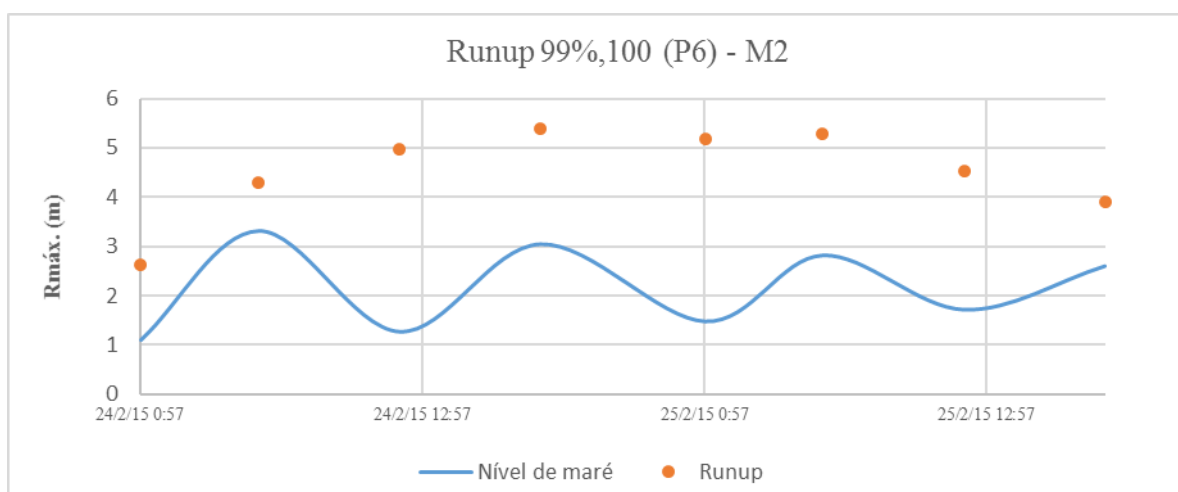


Figura D.62 – Runup na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 3

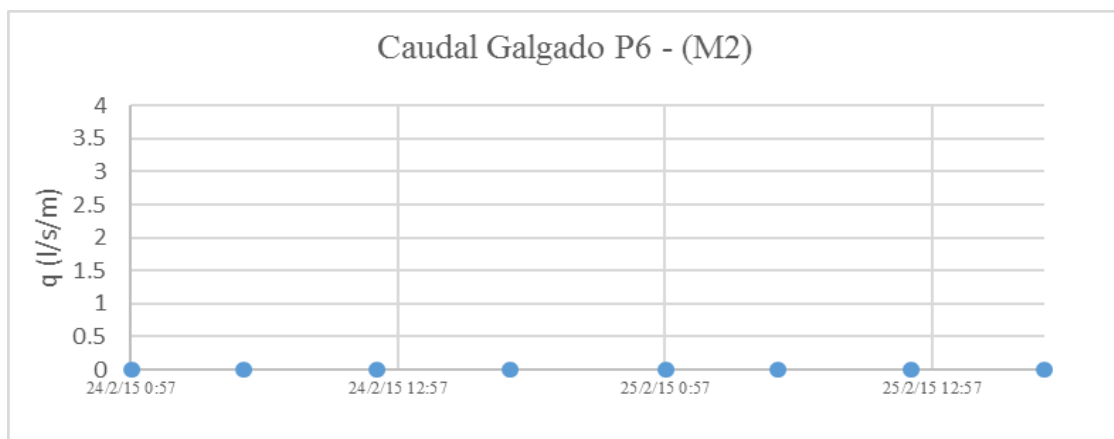


Figura D.63 – Caudal médio galgado na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 3

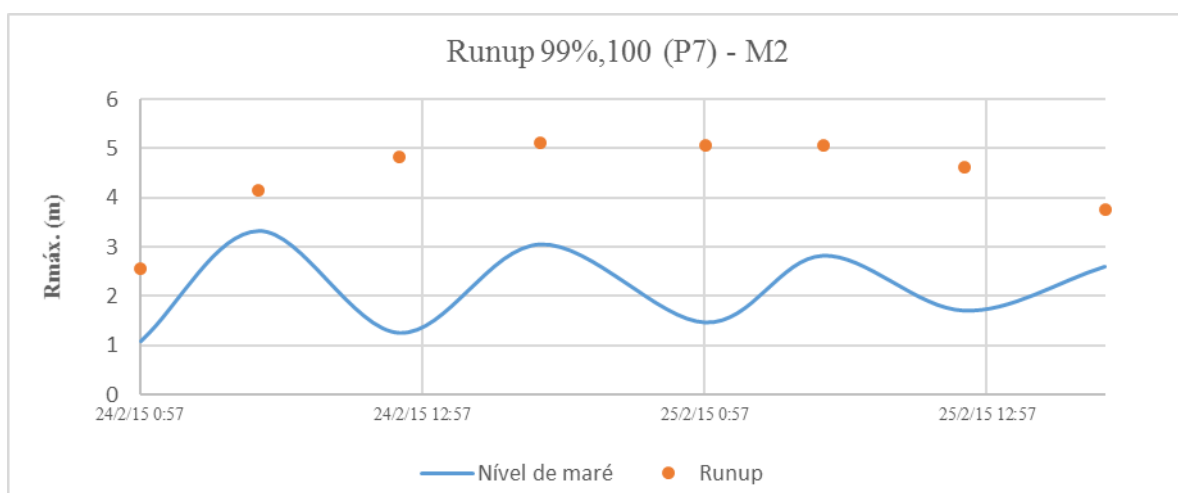


Figura D.64 – Runup na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 3

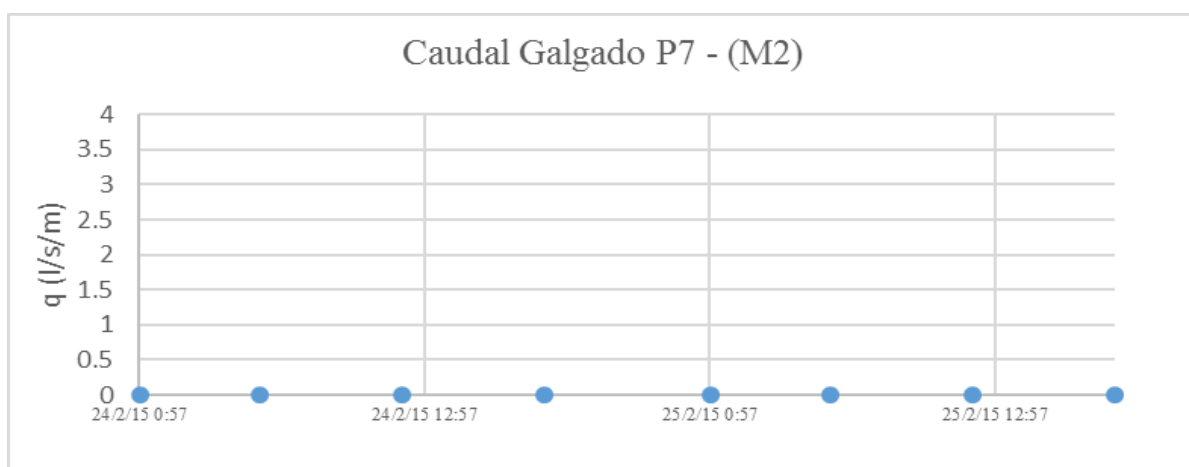


Figura D.65 – Caudal médio galgado na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 3

7) Runup e caudal médio galgado determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), considerando o método 1 e a tempestade 4, para as praias da Costa da Caparica

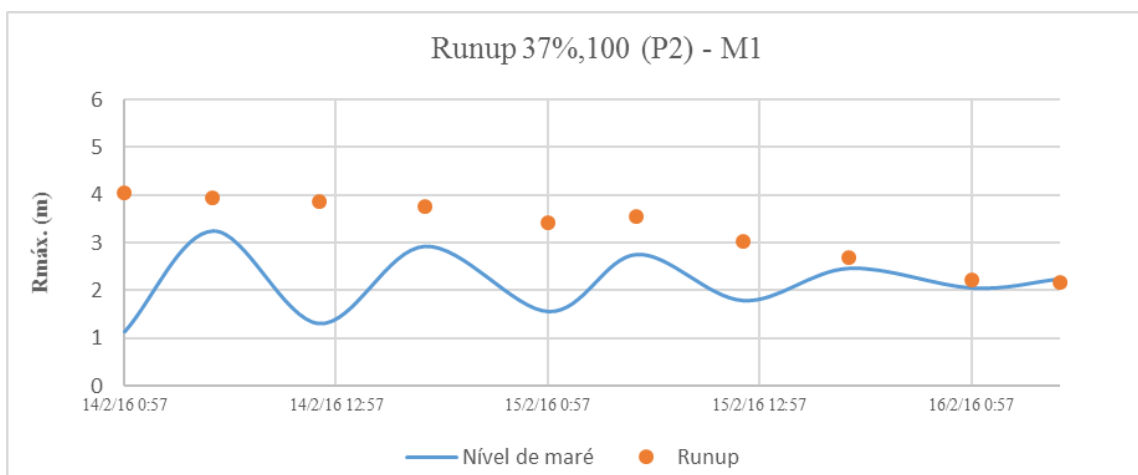


Figura D.66 – Runup na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 4

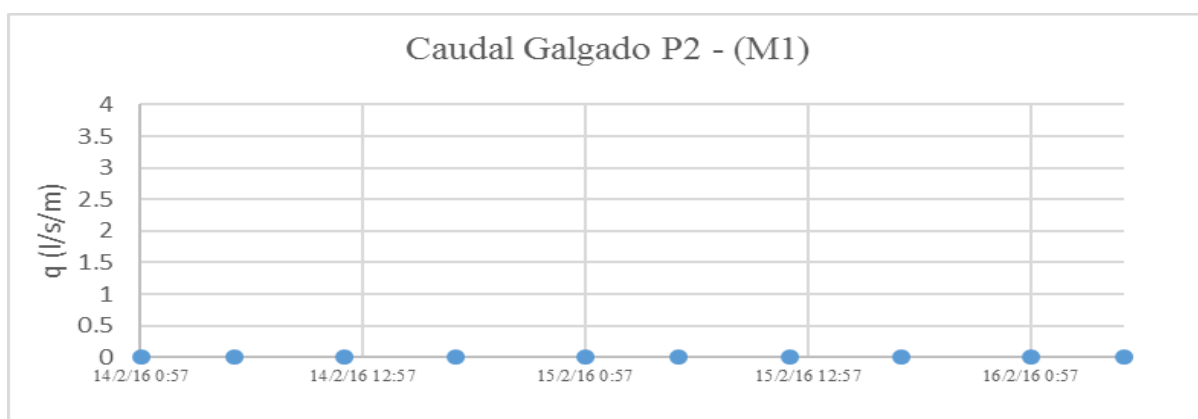


Figura D.67 – Caudal médio galgado na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 4

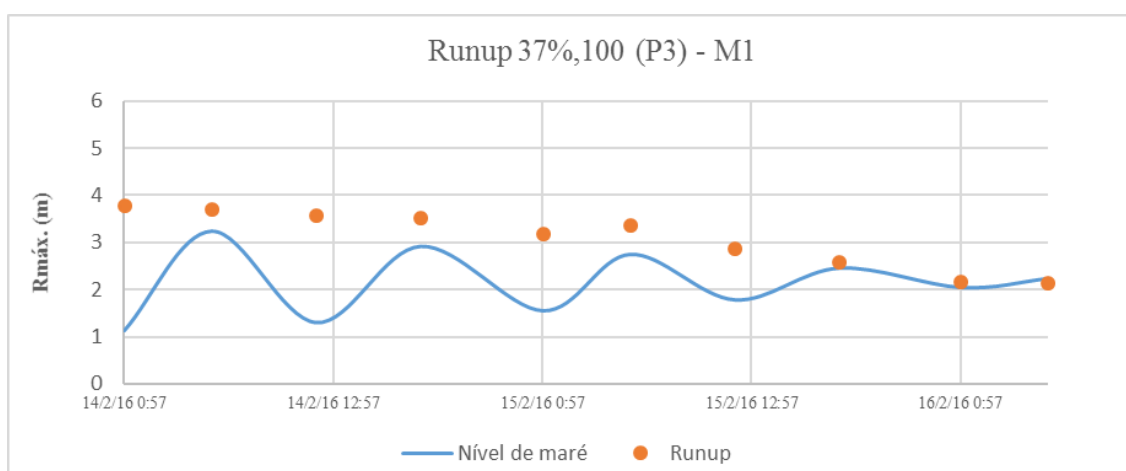


Figura D.68 – Runup na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 4

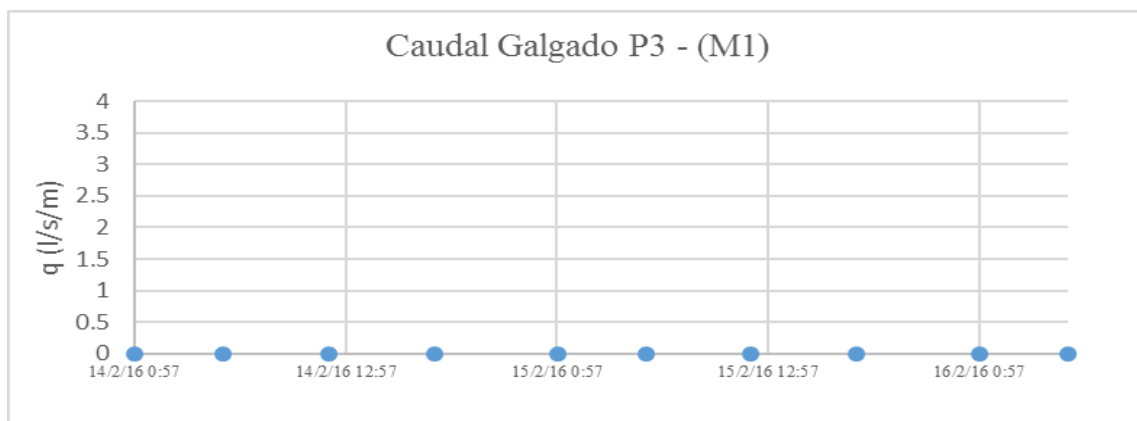


Figura D.69 – Caudal médio galgado na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 4

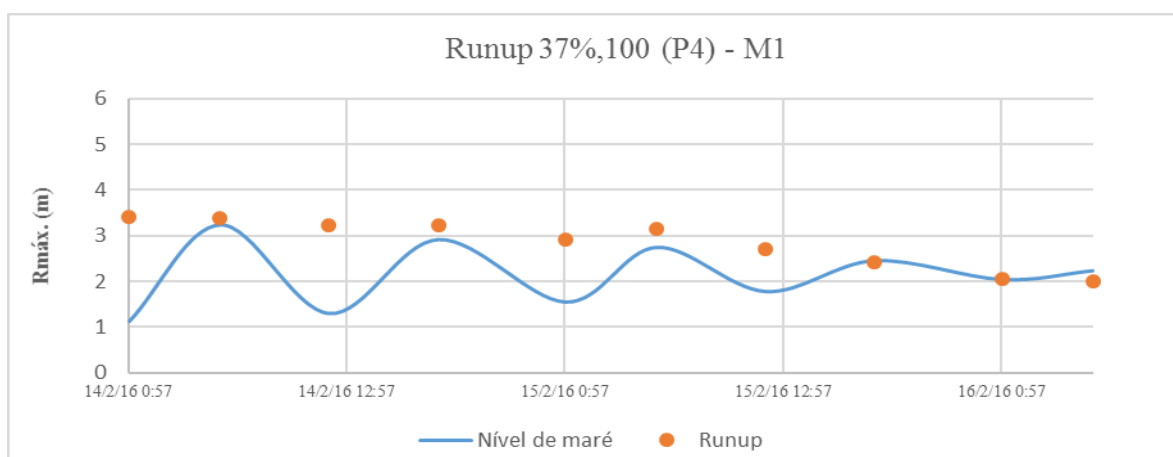


Figura D.70 – Runup na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 4

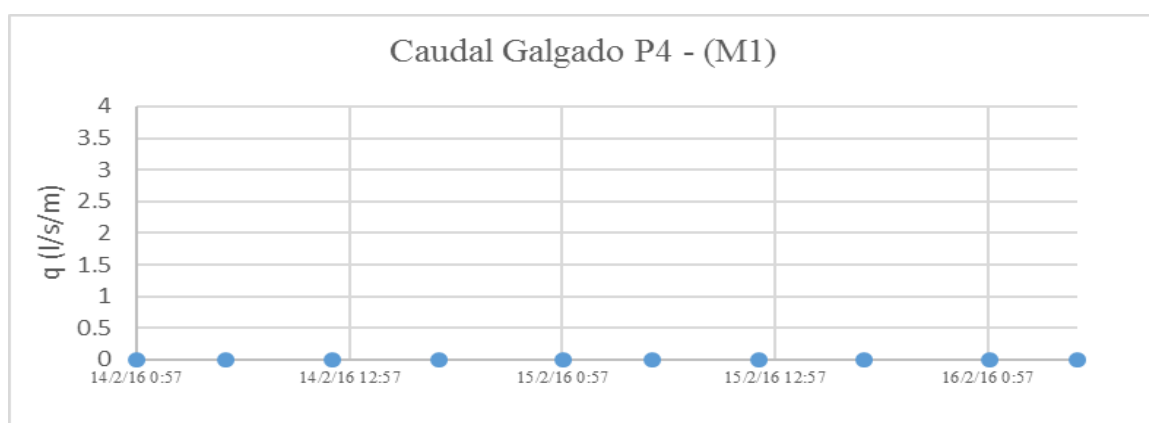


Figura D.71 – Caudal médio galgado na secção P4, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 4

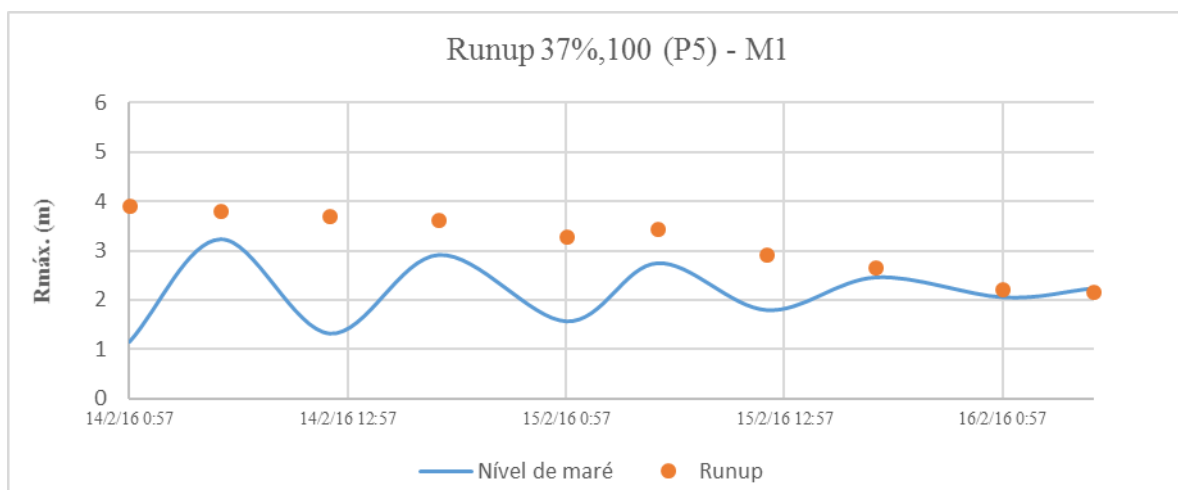


Figura D.71 – Runup na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 4

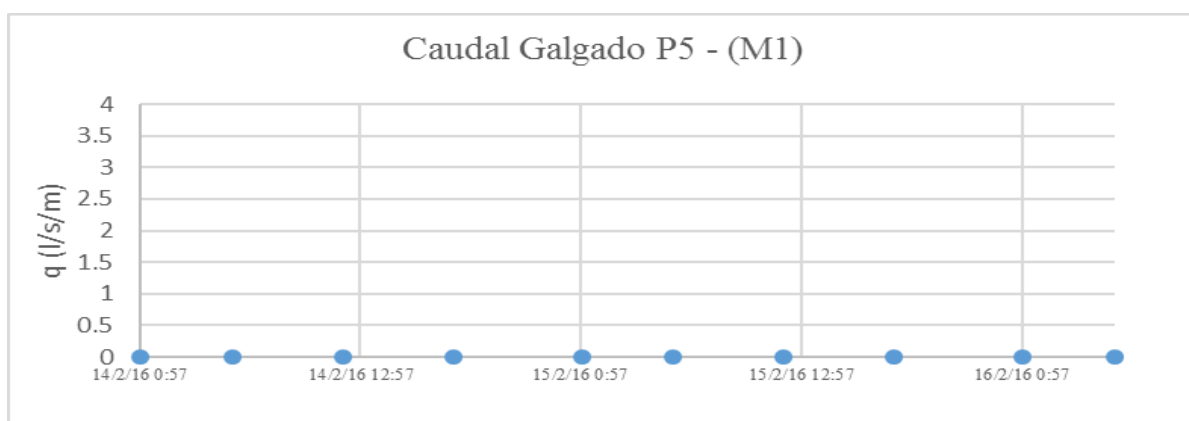


Figura D.72 – Caudal médio galgado na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 4

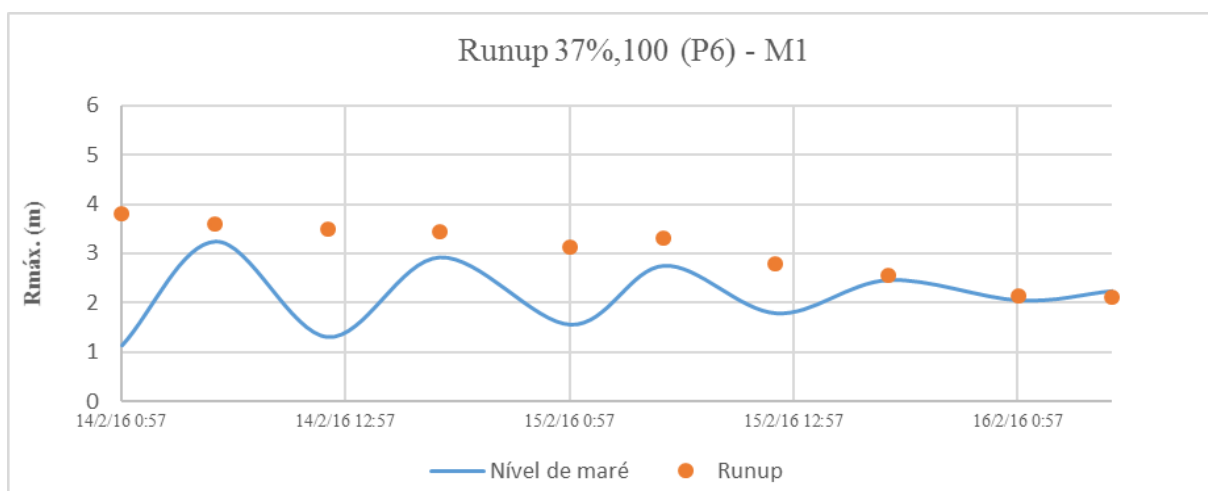


Figura D.73 – Runup na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 4

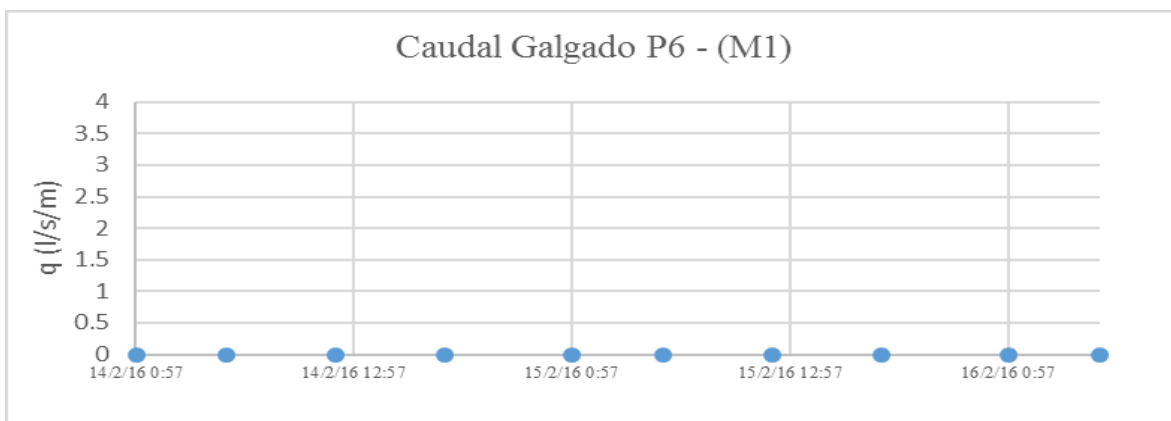


Figura D.74 – Caudal médio galgado na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 4

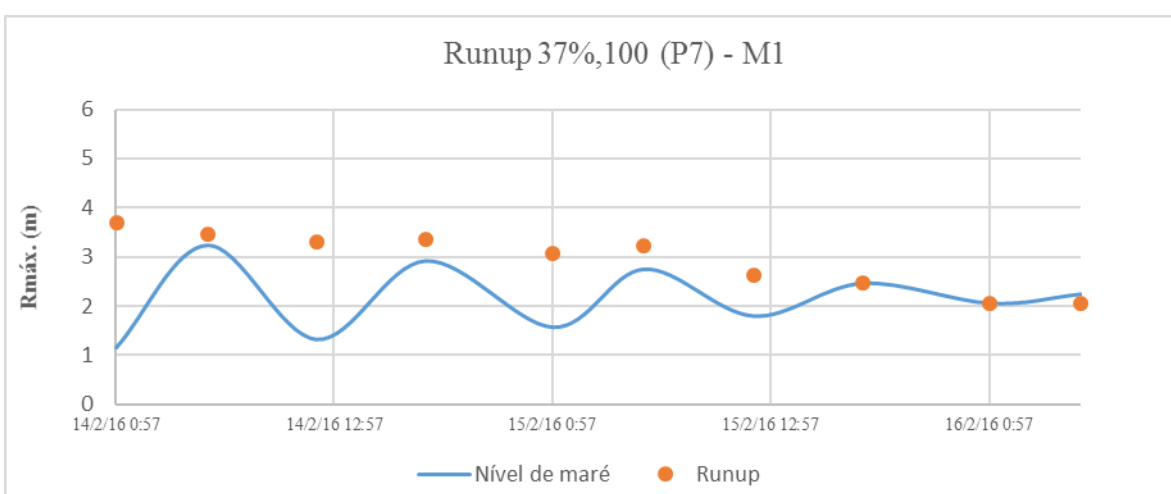


Figura D.75 – Runup na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 4

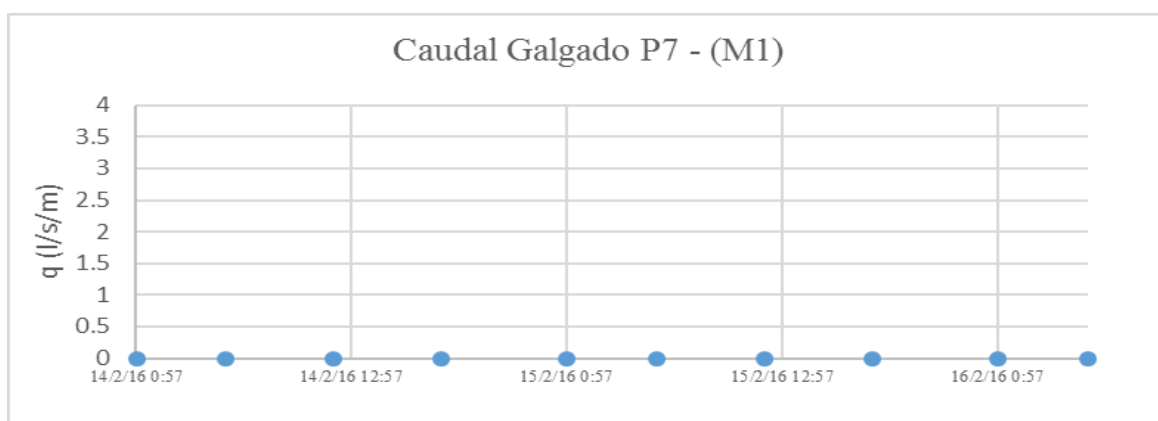


Figura D.76 – Caudal médio galgado na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 1, para a tempestade 4

8) Runup e caudal médio galgado determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), considerando o método 2 e a tempestade 4, para as praias da Costa da Caparica

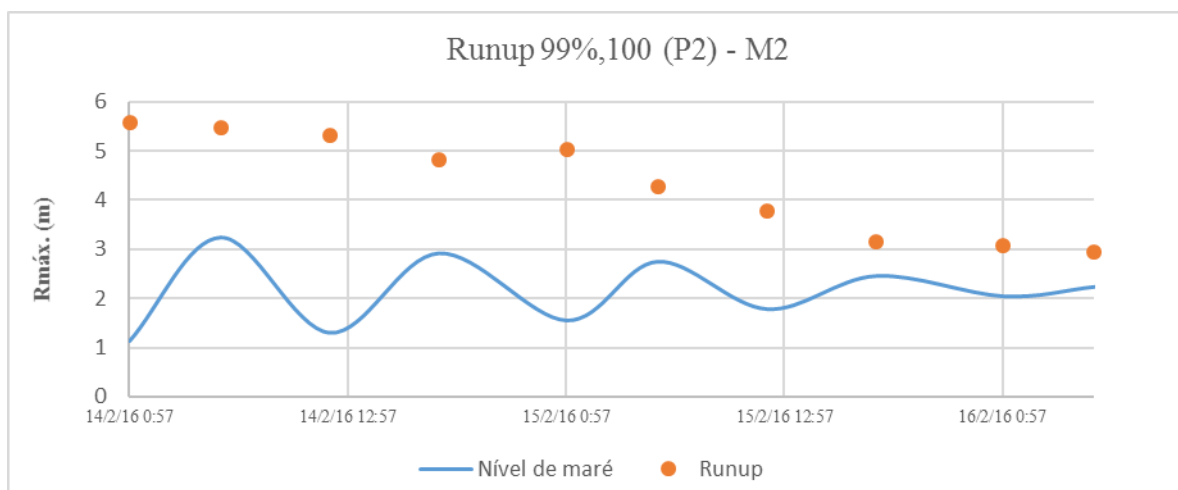


Figura D.77 – Runup na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 4

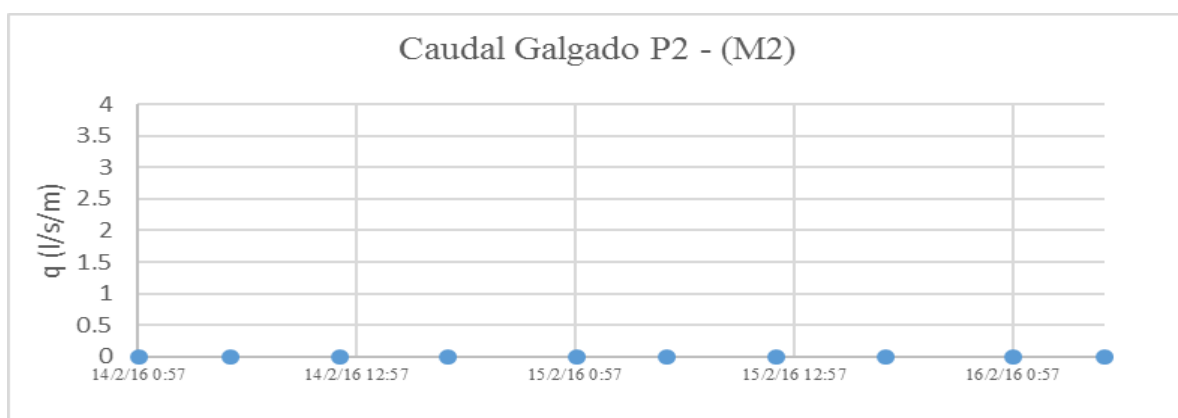


Figura D.78 – Caudal médio galgado na secção P2, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 4

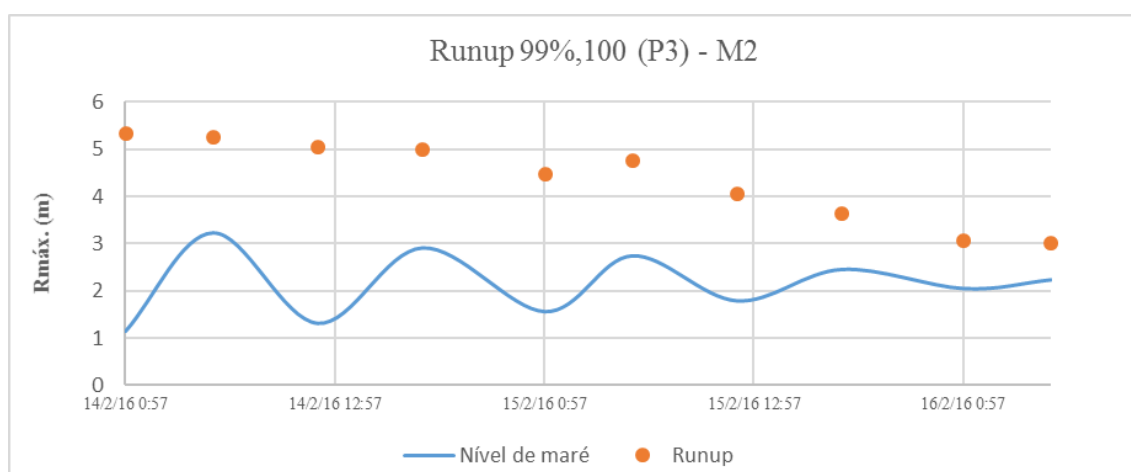


Figura D.79 – Runup na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 4

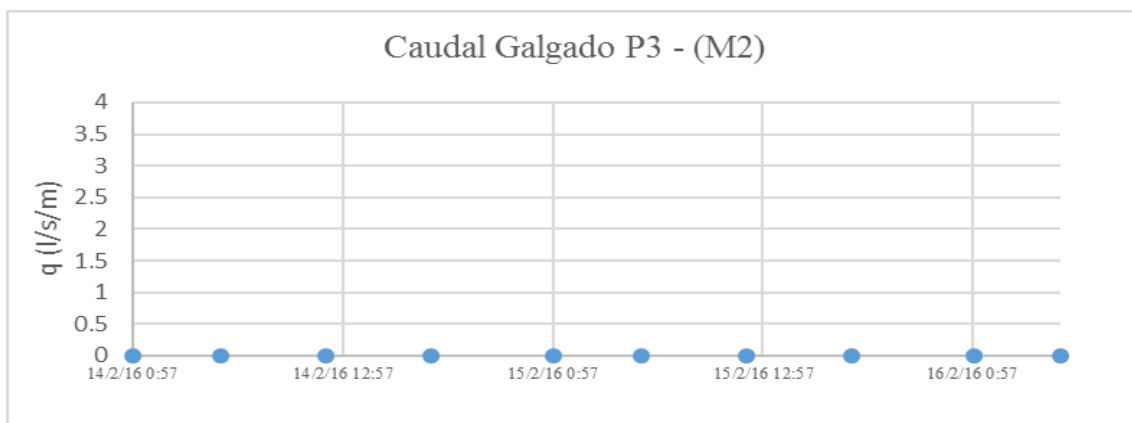


Figura D.80 – Caudal médio galgado na secção P3, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 4

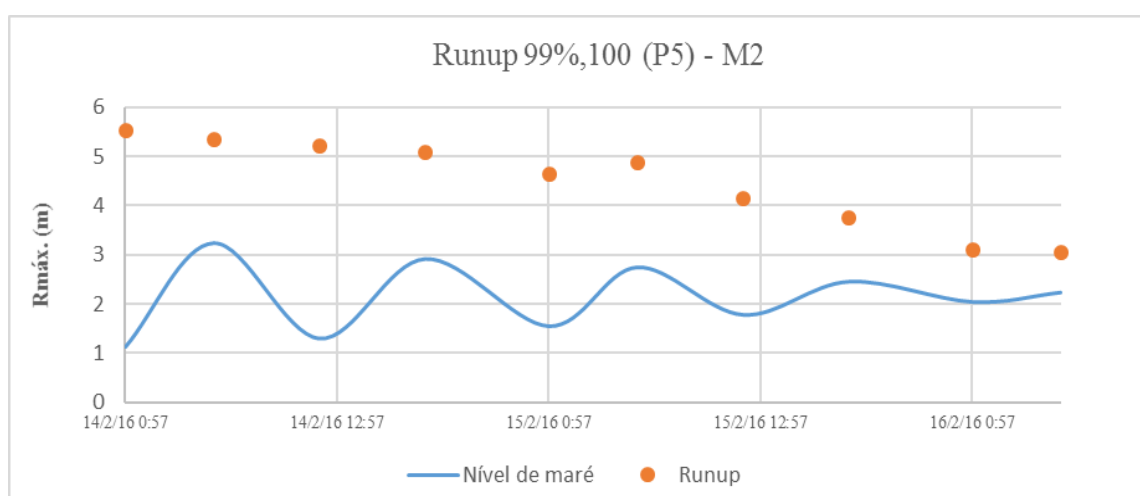


Figura D.81 – Runup na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 4

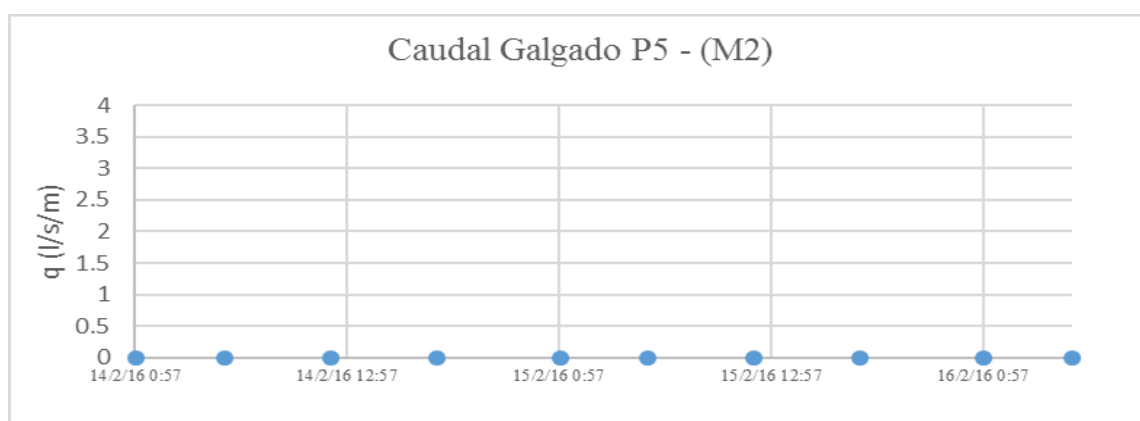


Figura D.82 – Caudal médio galgado na secção P5, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 4

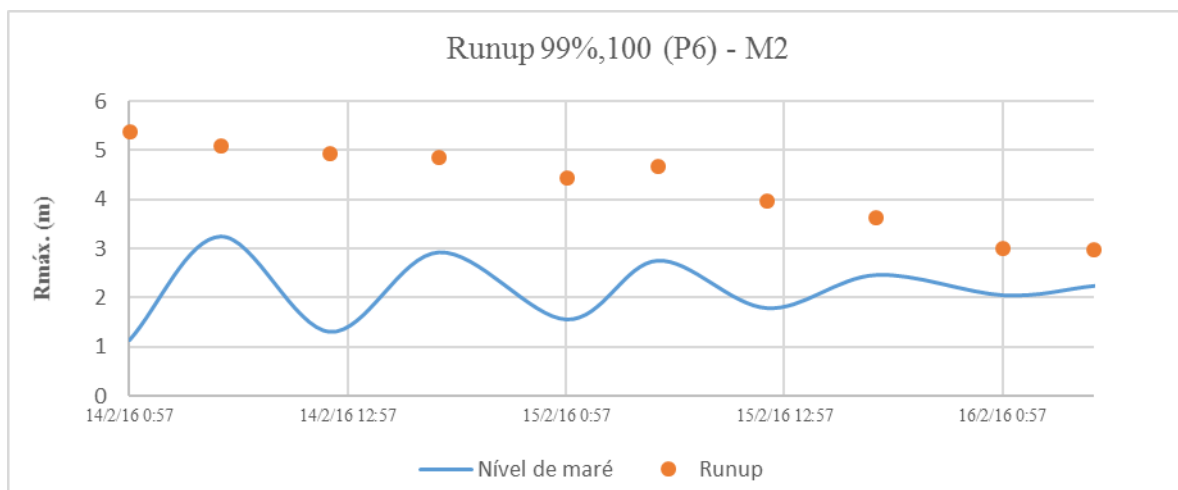


Figura D.83 – Runup na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 4

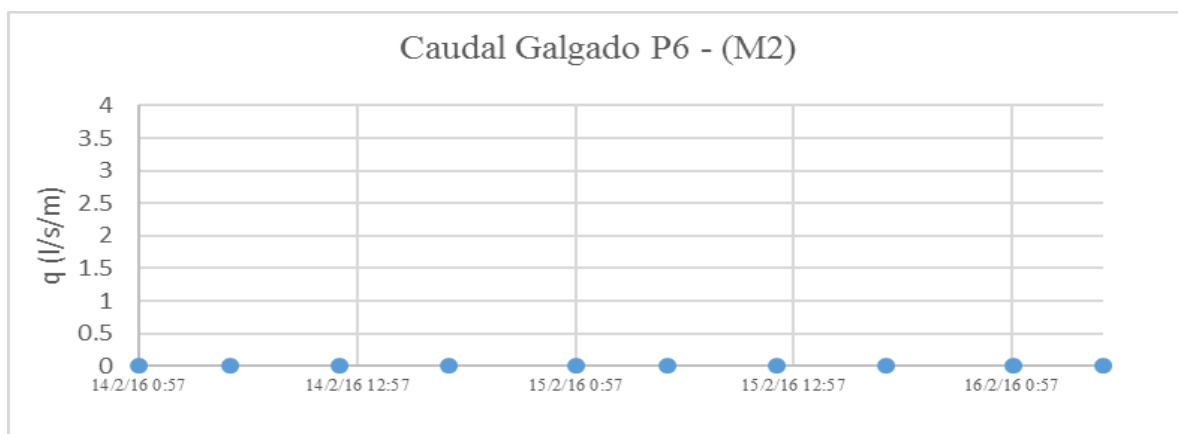


Figura D.84 – Caudal médio galgado na secção P6, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 4

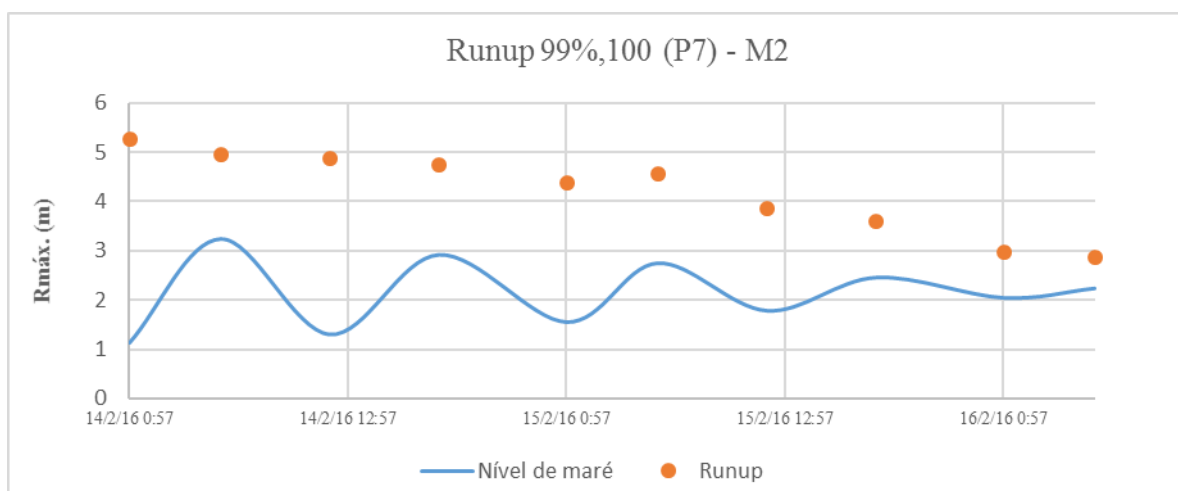


Figura D.85 – Runup na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 4

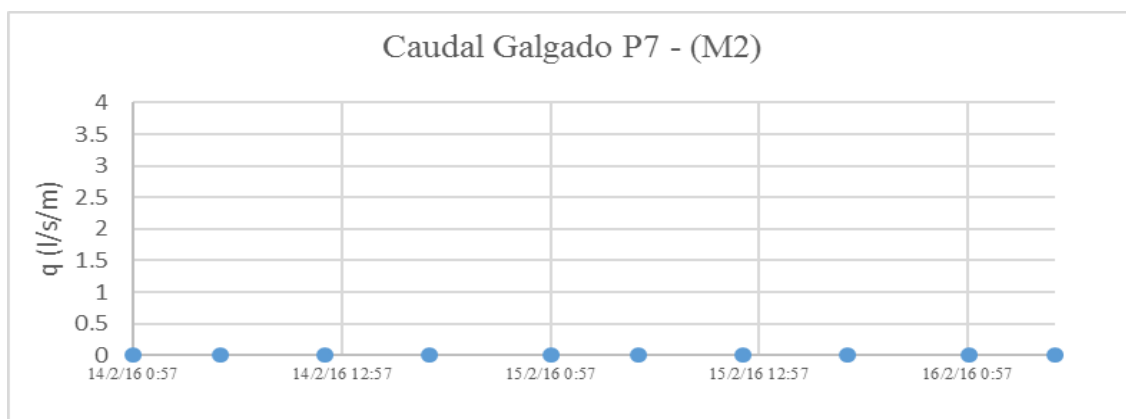


Figura D.86 – Caudal médio galgado na secção P7, determinado através da metodologia de Mase et al. (2013), método 2, para a tempestade 4

Anexo E - Caudal galgado obtido pelo modelo XBEACH

1) Caudal instantâneo galgado determinado através da metodologia do XBEACH considerando a tempestade 1, para as praias da Costa da Caparica

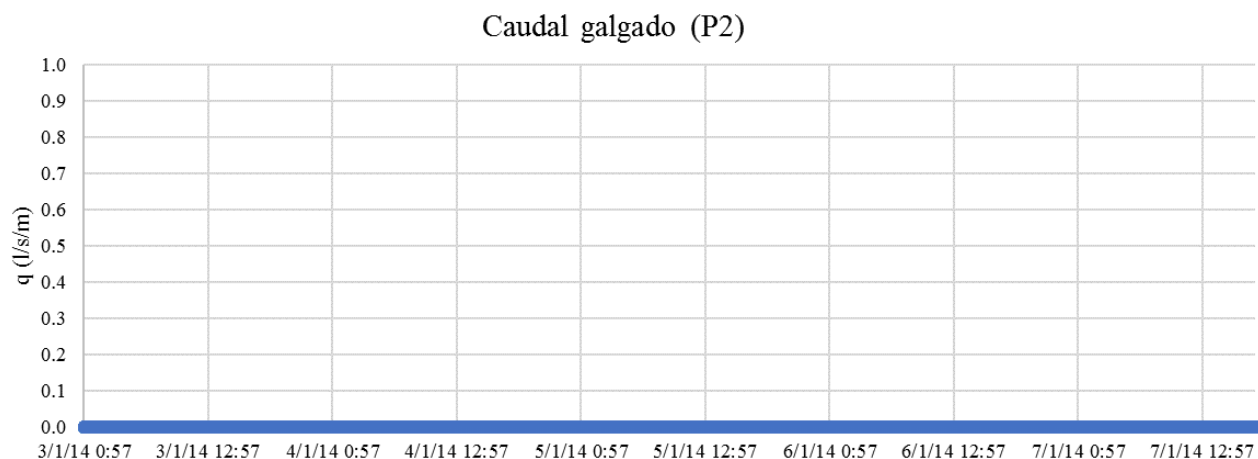


Figura E.1 – Caudal instantâneo galgado na secção P2, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 1

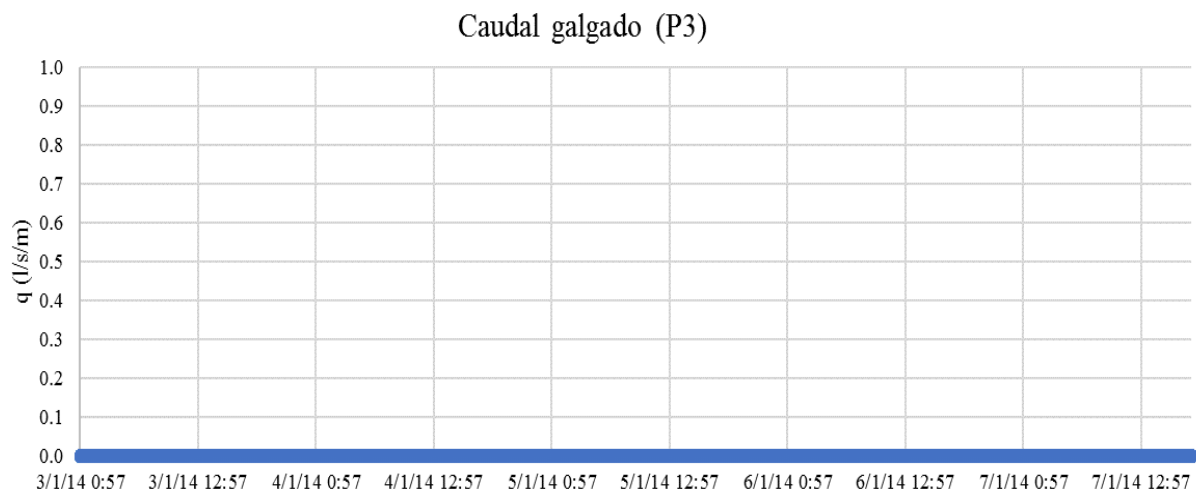


Figura E.2 – Caudal instantâneo galgado na secção P3, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 1

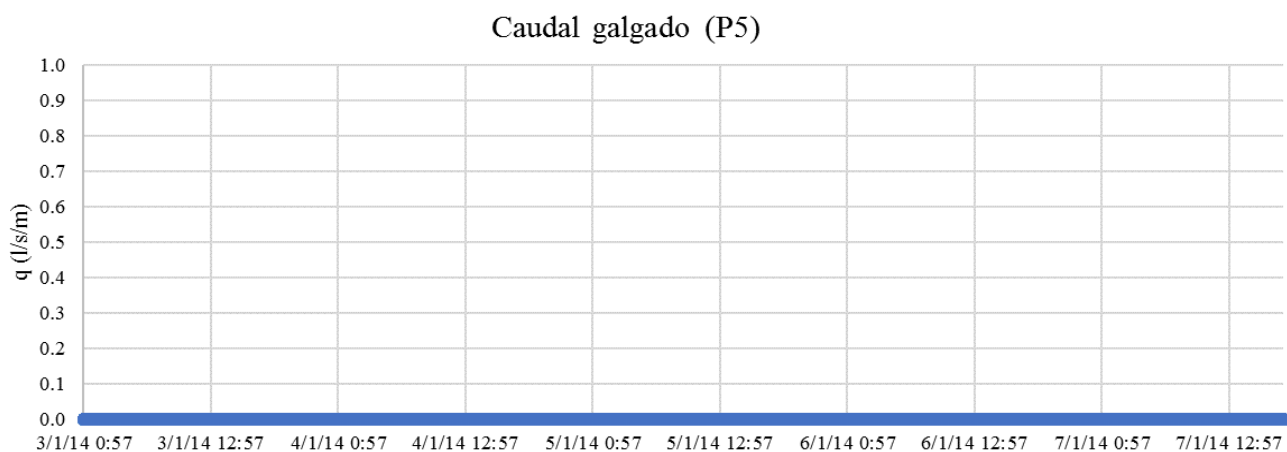


Figura E.3 – Caudal instantâneo galgado na secção P5, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 1

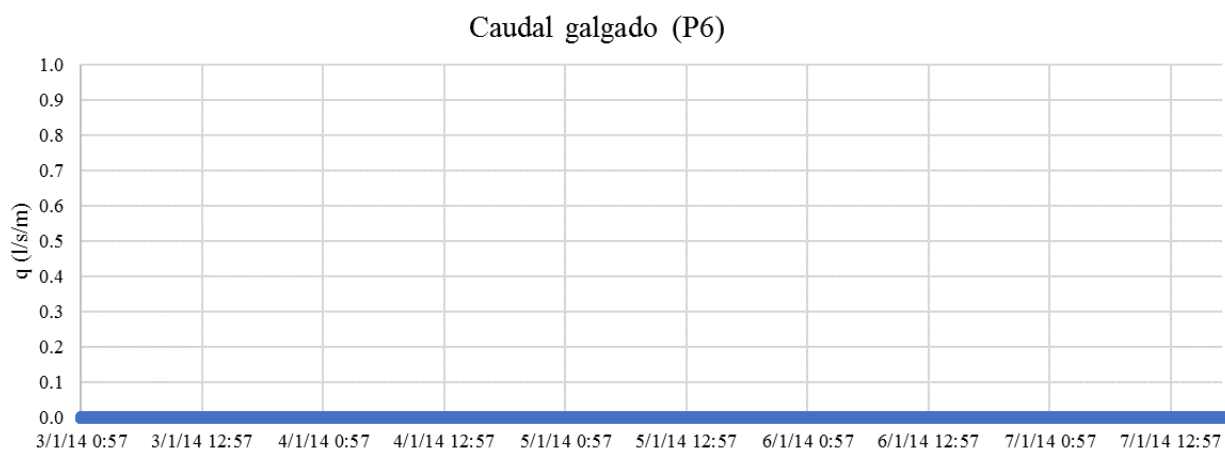


Figura E.4 – Caudal instantâneo galgado na secção P6, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 1

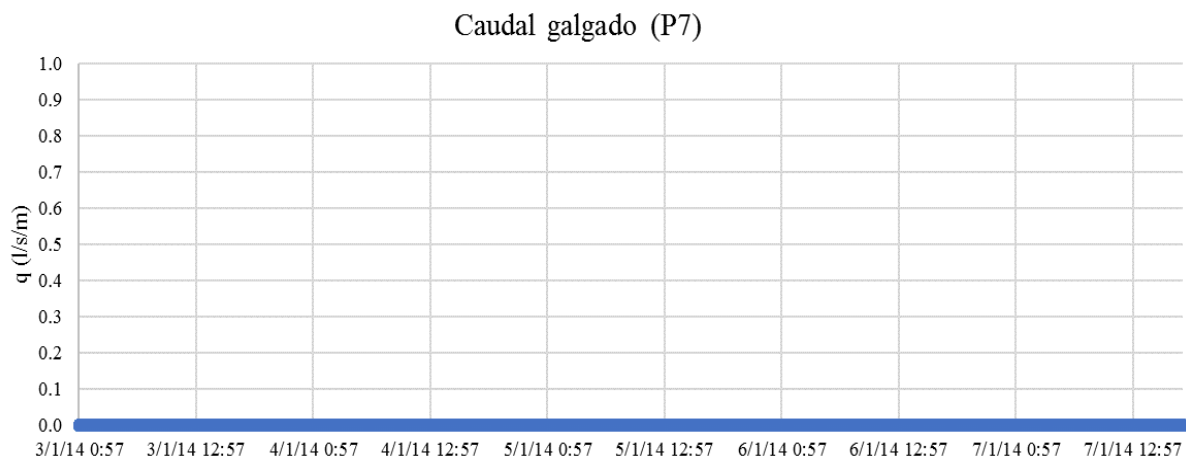


Figura E.5 – Caudal instantâneo galgado na secção P7, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 1

2) Caudal instantâneo galgado determinado através da metodologia do XBEACH considerando a tempestade 2, para as praias da Costa da Caparica

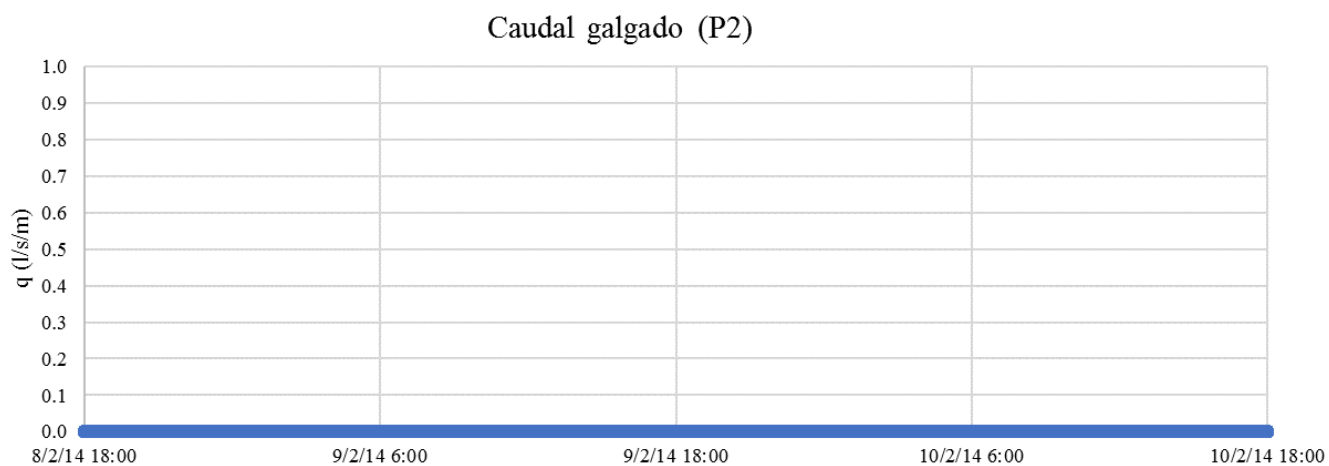


Figura E.6 – Caudal instantâneo galgado na secção P2, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 2

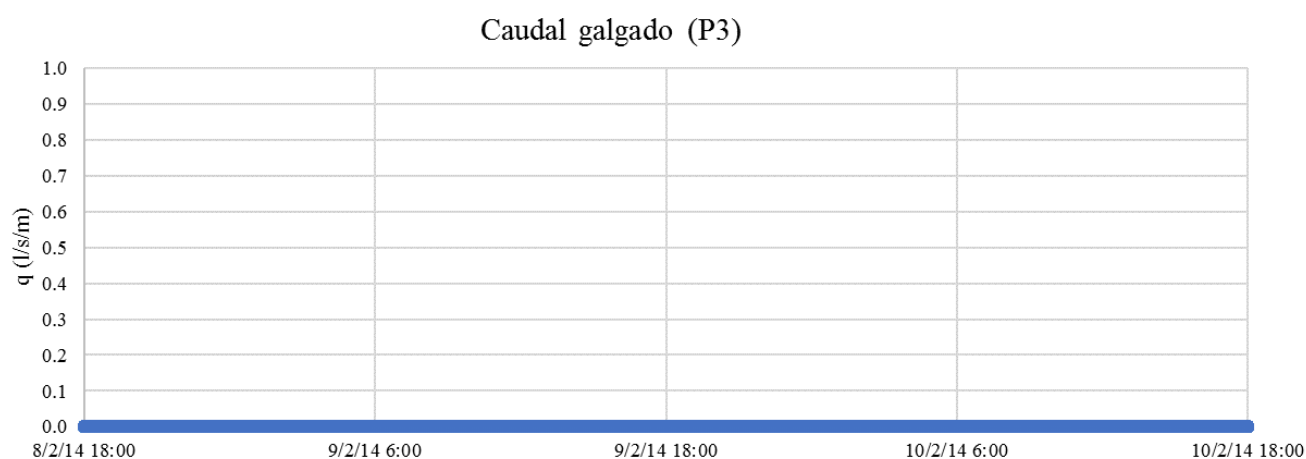


Figura E.7 – Caudal instantâneo galgado na secção P3, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 2

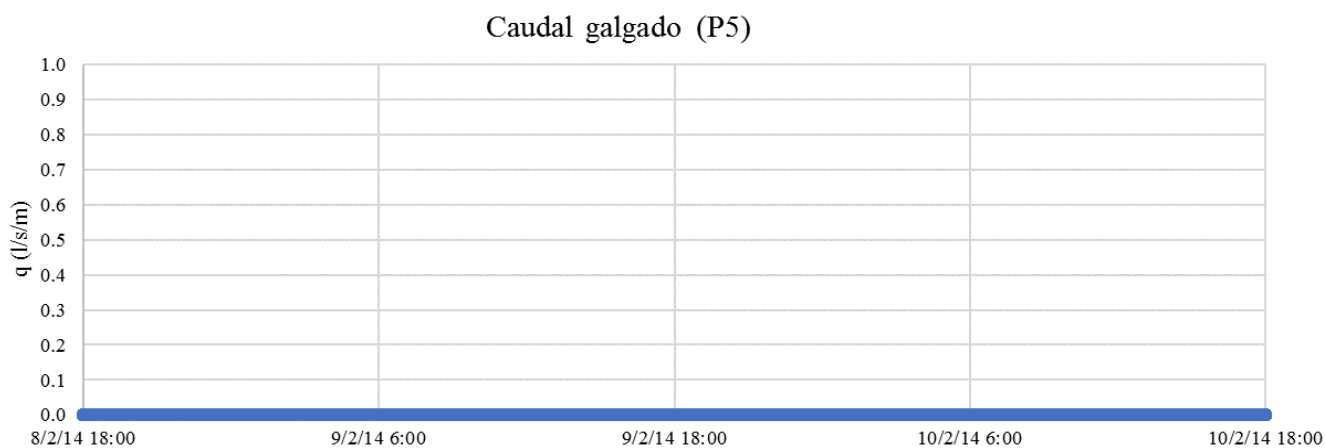


Figura E.8 – Caudal instantâneo galgado na secção P5, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 2

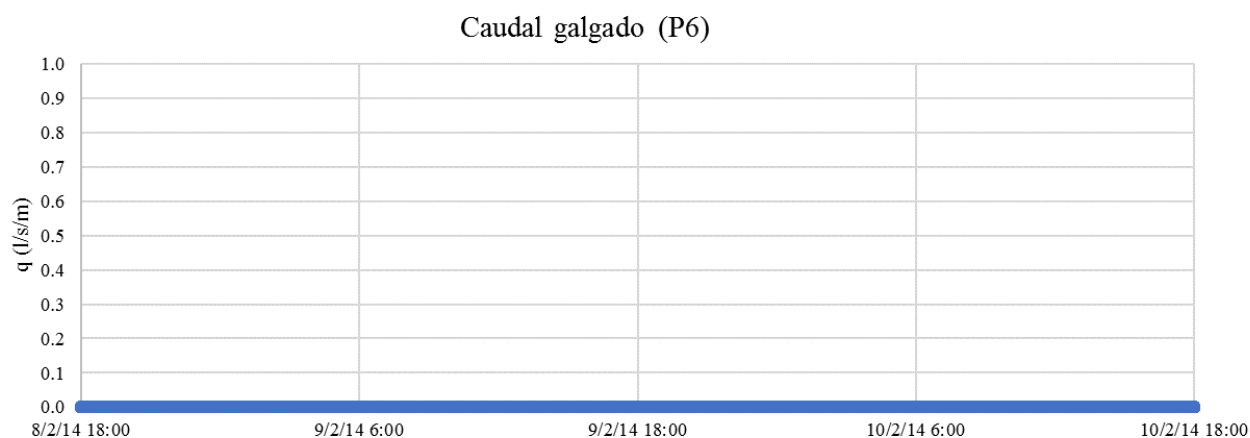


Figura E.9 – Caudal instantâneo galgado na secção P6, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 2

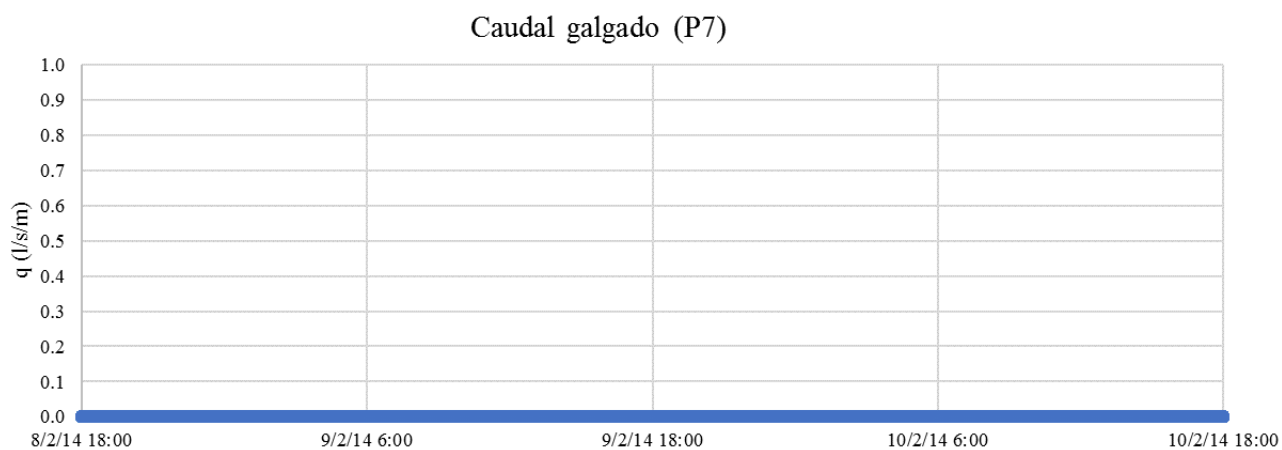


Figura E.10 – Caudal instantâneo galgado na secção P7, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 2

3) Caudal instantâneo galgado determinado através da metodologia do XBEACH considerando a tempestade 3, para as praias da Costa da Caparica

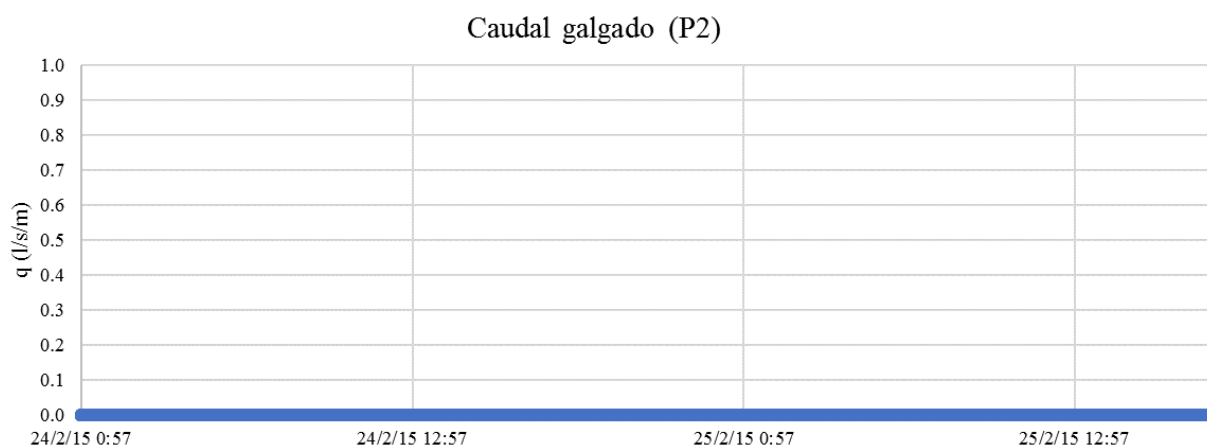


Figura E.11 – Caudal instantâneo galgado na secção P2, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 3

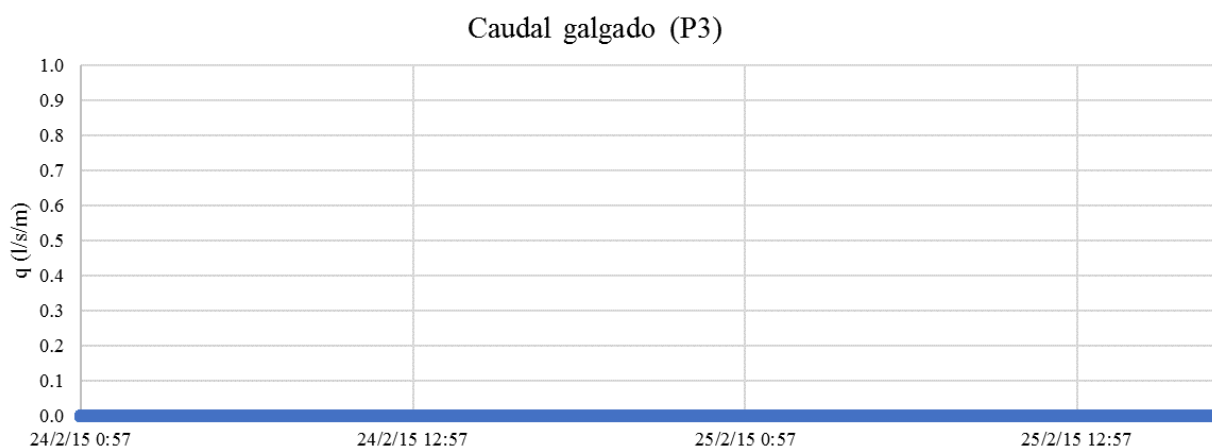


Figura E.12 – Caudal instantâneo galgado na secção P3, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 3

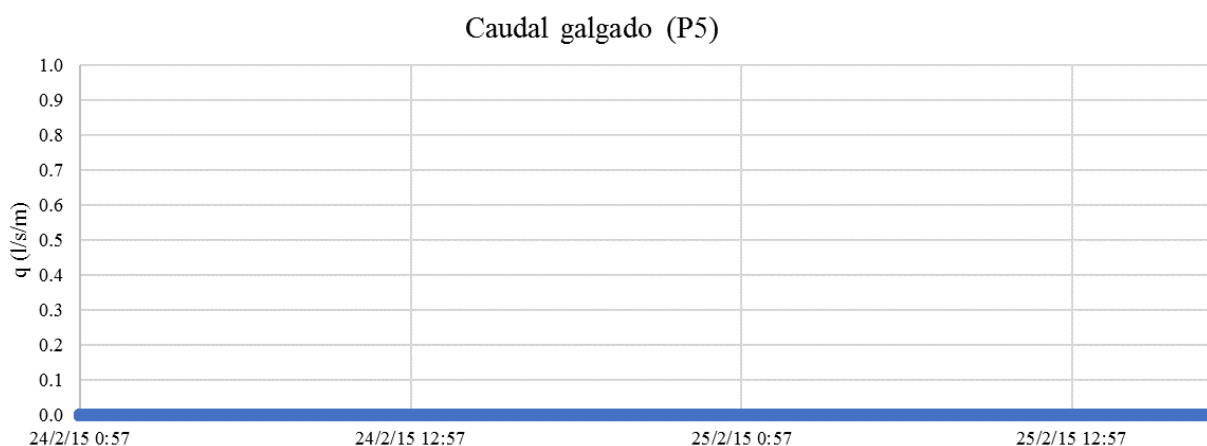


Figura E.13 – Caudal instantâneo galgado na secção P5, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 3

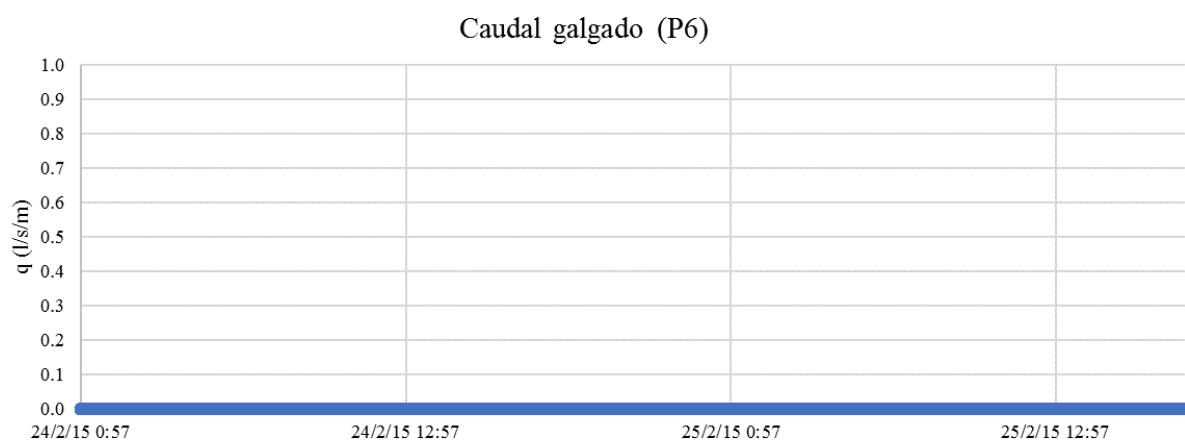


Figura E.14 – Caudal instantâneo galgado na secção P6, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 3

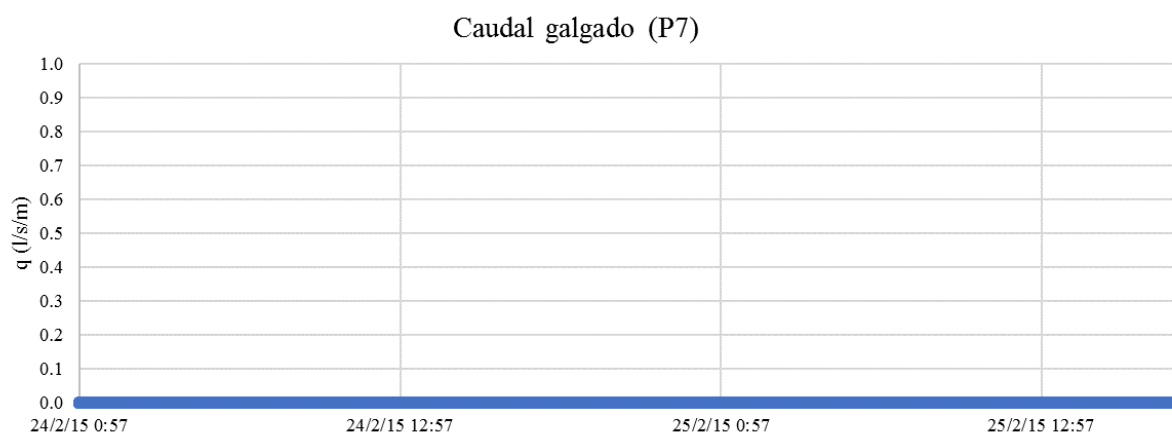


Figura E.15 – Caudal instantâneo galgado na secção P7, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 3

4) Caudal instantâneo galgado determinado através da metodologia do XBEACH considerando a tempestade 4, para as praias da Costa da Caparica

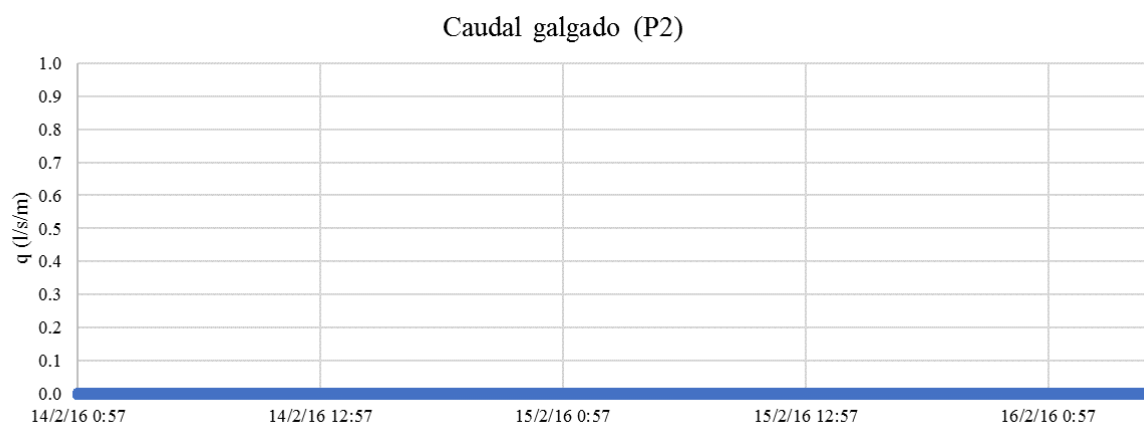


Figura E.16 – Caudal instantâneo galgado na secção P2, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 4

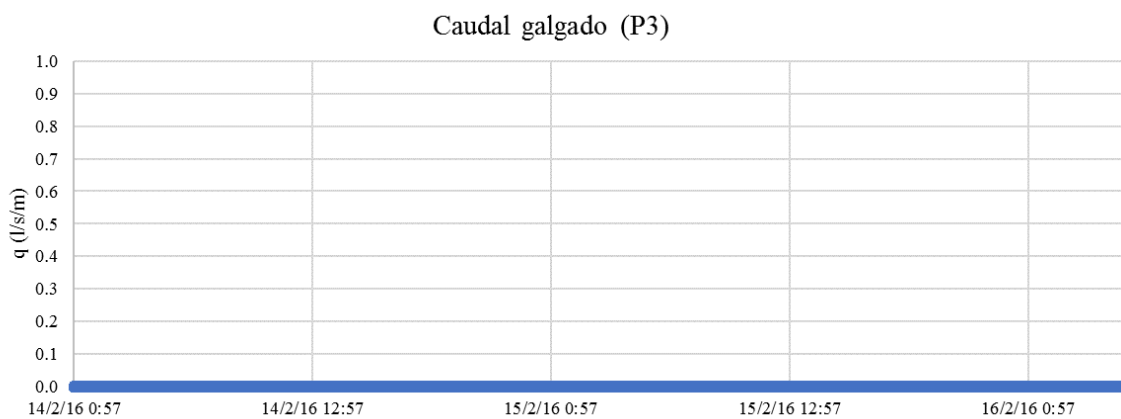


Figura E.17 – Caudal instantâneo galgado na secção P3, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 4

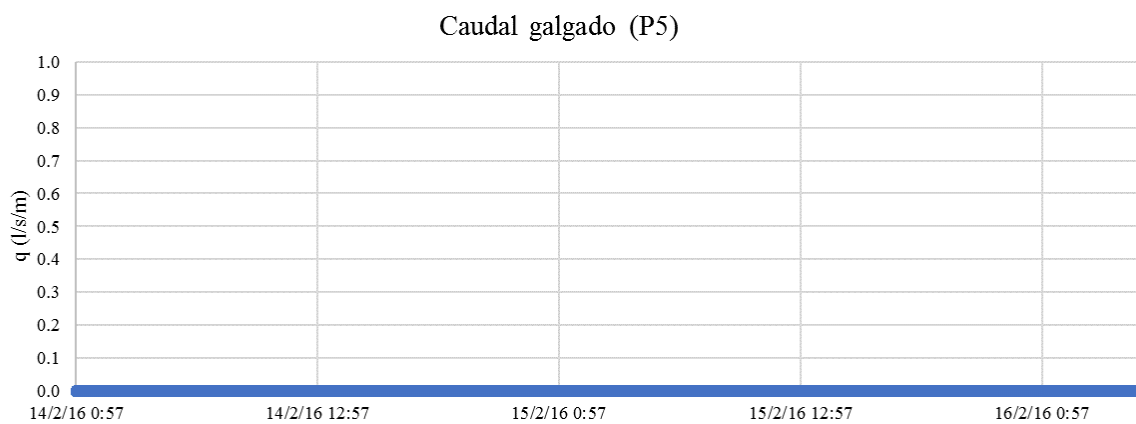


Figura E.18 – Caudal instantâneo galgado na secção P5, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 4

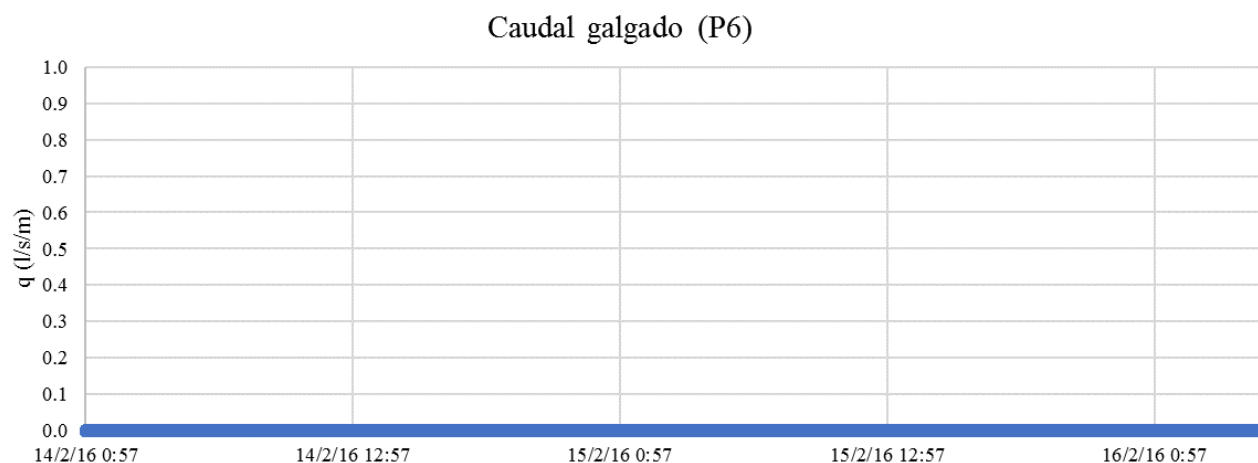


Figura E.19 – Caudal instantâneo galgado na secção P6, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 4

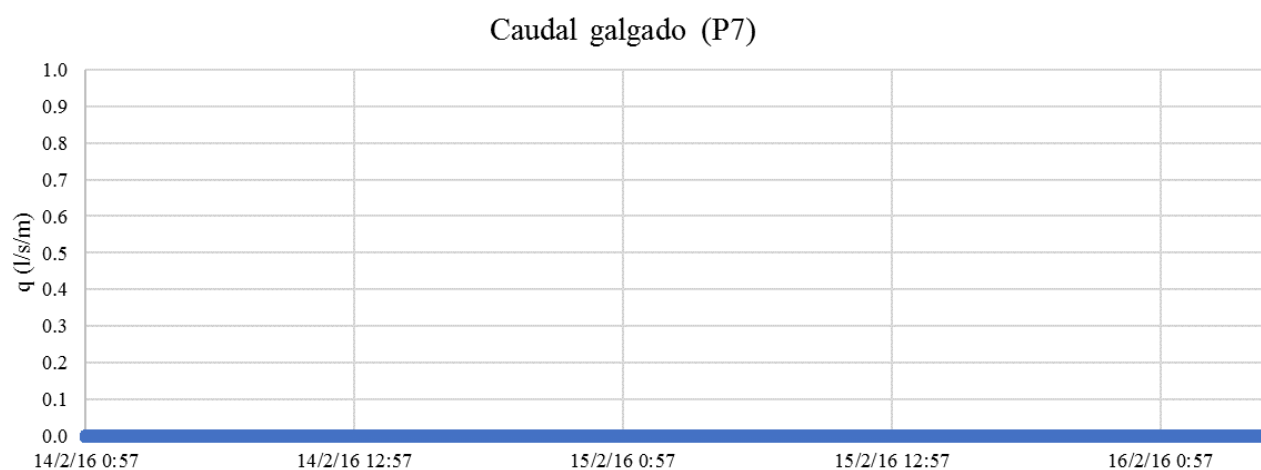


Figura E.20 – Caudal instantâneo galgado na secção P7, determinado através da metodologia do XBEACH para a tempestade 4

